

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE  
INGENIERÍA NAVAL Y OCEÁNICA**

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE  
CARTAGENA**



**Universidad  
Politécnica  
de Cartagena**

**Trabajo Fin de Grado**

**Autor Daniel Baños Fuentes**

**Parametrización en hoja de cálculo del  
módulo de la  
maestra de petroleros. Procedimientos  
generales en las operaciones de carga y  
descarga de crudo y cálculo de las bombas  
asociadas**

**(Parameterized spreadsheet of Tankers section  
modulus. General  
procedures of crude oil loading and unloading  
operations and associated pumps calculation)**



## **RESUMEN**

El trabajo está dividido en dos partes. La primera consiste en automatizar el cálculo de la sección maestra de un petrolero, el módulo, eje neutro y la inercia de esta, de manera que se puedan variar ciertas dimensiones como la manga y el calado, el escantillón de los refuerzos y el espesor de las planchas, además cuando se varíen la manga y el calado, los refuerzos se reposicionarán automáticamente, dando también la opción de elegir la separación entre estos dentro de un rango.

La segunda parte trata de realizar una descripción de los procedimientos generales de carga y descarga de crudo en el buque petrolero y realizar el cálculo de las bombas encargadas de esto para el buque inicial con el que se han realizado los cálculos estructurales.

## **ABSTRACT**

The work consists of automating the calculation of the amidship of a tanker, the module, neutral axis, and the inertia of the same, so that certain dimensions such as the breadth and the draft, the type of stiffeners and the thickness of the plates can be modified, in addition when the sleeve and the draft are varied, the reinforcements will be repositioned automatically, giving the option as well of choosing the separation between them within a range.

The second part is to make a description of the general procedures of loading and unloading of the crude oil in the tanker and the calculation of the pumps used for this process for the initial vessel in which the structural calculations have been made.

# ÍNDICE

## **1.- CÁLCULOS DEL MÓDULO, INERCIA Y EJE NEUTRO DE LA SECCIÓN MAESTRA.**

### **2.- ESTRUCTURA DE LA HOJA DE CÁLCULO.**

2.1- HOJA 1

2.2- HOJA 2

2.3- HOJA 3

2.4- HOJA 4

2.5- HOJA 5

### **3.- LIMITACIONES QUE TIENE EL TRABAJO.**

## **4.- CÁLCULOS Y PROGRAMACIÓN DENTRO DE LA HOJA DE CÁLCULO.**

4.1- ESPESOR Y LONGITUD MÍNIMOS PLANCHA DE FONDO EN LA TRACA DE LA QUILLA.

4.2- DISPOSICIÓN DE LAS PLANCHAS

4.3- DISPOSICIÓN DE LOS REFUERZOS

4.4- CÁLCULOS DEL MÓDULO DE LA SECCIÓN, LA INERCIA Y EL EJE NEUTRO.

## **5.- DESCRIPCIÓN DE LAS OPERACIONES DE CARGA Y DESCARGA DE CRUDO DE UN PETROLERO.**

5.1- INTRODUCCIÓN

5.2- PLAN DE OPERACIONES

5.3- OPERACIÓN DE CARGA

5.4- OPERACIÓN DE DESCARGA

## **6.- CÁLCULO DE LAS BOMBAS DEL SERVICIO PARA UNA DETERMINADA CANTIDAD DE CRUDO.**

### **7.- BIBLIOGRAFÍA**

# **1.- CÁLCULOS DEL MÓDULO, INERCIA Y EJE NEUTRO DE LA SECCIÓN MAESTRA.**

## **1.1-CÁLCULO DEL MÓDULO DE LA MAESTRA.**

Como se explica en el tema 4 de la asignatura diseño y cálculo de estructuras navales, el plano de la sección maestra es el plano de la sección más representativa de la estructura del casco del barco.

El procedimiento del cálculo del módulo de la maestra es el siguiente:

1.- Se elige en la sección transversal una línea de referencia, siendo muy usada la línea base.

2.- A partir del escantillón de las planchas y perfiles se calcula el área de estos. En el caso de la plancha será el producto del ancho de la traca por el espesor, y en el caso de perfiles, según su forma, se obtiene a partir de sus dimensiones o bien a partir de un prontuario.

3.- Se calcula la altura de la posición vertical del centro de gravedad de planchas y perfiles con respecto a la línea de referencia. En el caso de planchas se calcula directamente a partir de las cotas de la sección, y en el caso de perfiles, además, con ayuda del centro de gravedad de estos obtenidos a partir de prontuario.

4.- El momento estático de primer orden de cada elemento estructural con respecto a la línea de referencia, es el producto del área por la altura de su centro de gravedad. En el caso de que la referencia fuera la línea situada a la mitad del puntal, los valores de los momentos estáticos por debajo de esa línea se pondrán con signo negativo.

5.- El momento estático de segundo orden de cada elemento estructural o momento de inercia respecto a la línea de referencia, es el producto del área por la altura al cuadrado de su centro de gravedad.

6.- Al momento de segundo orden de cada elemento hay que añadirle el momento de inercia propio, con respecto a un eje paralelo al de referencia que pase por el centro de gravedad del elemento. En el caso de planchas horizontales este momento se puede despreciar debido a que el espesor de estas es muy pequeño e ir elevado al cubo en la fórmula, ya que es el momento de inercia de un rectángulo,  $\frac{1}{12} \cdot \text{ancho} \cdot \text{espesor}^3$ . Si los momentos de inercia propios de los perfiles longitudinales son muy pequeños, también se podrían despreciar.

7.- Se procede a la suma de todas las áreas, de todos los momentos estáticos de primer y segundo orden y de todas las inercias propias.

8.- La posición el eje neutro de la sección, el cual pasa por el centro de gravedad de esta, está a una distancia de la línea de referencia:

$$h_{EN} = \frac{\sum \text{Momentos de primer orden}}{\sum \text{Areas}}$$

En el caso de que la línea de referencia sea la mitad del puntal, un valor negativo de  $h_{EN}$  indicará que el eje neutro está por debajo de la referencia.

9.- Conocida la posición del eje neutro, se calcula el momento de inercia de la sección con respecto al mismo, haciendo la corrección por el teorema de los ejes paralelos o de Steiner:

$$I = I_{zz} - Ah_{EN}^2$$

donde  $I$  es el momento de inercia respecto al eje neutro,  $A$  es el sumatorio de áreas, e  $I_{zz}$  es el momento de inercia de la sección respecto al eje  $zz$ , cuyo valor es:

$$I_{zz} = \sum (\text{Inercias propias} + \text{Momentos estáticos de segundo orden})$$

El cálculo se realiza para la mitad de la sección, por lo que los resultados tienen que multiplicarse por 2.

El cálculo del módulo de cubierta y fondo se realiza dividiendo la inercia de la sección por las distancias del eje neutro a cubierta y fondo respectivamente. Para que las unidades de inercia y módulo no sean ni muy grandes ni muy pequeñas, y dependiendo de las dimensiones de la sección, es aconsejable expresar las áreas en  $\text{cm}^2$  y las distancias a la referencia en metros. Por tanto, las unidades del momento estático serán  $\text{cm}^2\text{m}$ , y las inercias en  $\text{cm}^2\text{m}^2$ .

$$Z_C = \frac{I}{H_D - H_{EN}}$$

$$Z_Q = \frac{I}{H_{EN}}$$

Siendo  $Z_C$  el módulo en la cubierta y  $Z_Q$  el módulo en el fondo.

## 2.- ESTRUCTURA DE LA HOJA DE CÁLCULO.

### 2.1-HOJA 1

En la primera página de la hoja de cálculo nos encontramos con el plano de la sección maestra de nuestro buque, una tabla de introducción de datos generales y unas indicaciones del rango de valores que se puede introducir en esta hoja de cálculo sin que produzca fallos.

Autoguardado TFG Daniel Baños Fuentes Buscar

Archivo Inicio Insertar Disposición de página Fórmulas Datos Revisar Vista Programador Ayuda Foxit Reader PDF

Portapapeles Fuente Nuevo grupo Alineación Número Formato condicional

Introducción de datos

Introducción de datos			
Variables		No variables	
Eslora	234	Radio pantoque	2000
Manga	43	Inclinación cubierta	5%
Puntal	21	Puntal en crujía	22,075

Variaciones de manga y calado entre las que los cálculos se realizan de forma correcta:  
-Manga de 38m hasta 49m  
-Puntal desde 17m hasta 26m

Introducción de datos Planchas Refuerzos Base de datos tipos de refuerzo Modulo, inercia y eje neutro

## 2.2-HOJA 2

En la segunda página de la hoja de cálculo se ha colocado todo lo relacionado con las planchas. En el principio podemos encontrar la Introducción de datos otra vez, que se alimenta de la tabla de la primera página, a la izquierda podemos ver las planchas con su posicionamiento en el buque, siendo z(mm) la altura respecto a la línea base e y(mm) la distancia respecto al mamparo central del buque.

En el centro de la hoja de cálculo primero aparecen los cálculos empleados para averiguar los valores que ha de tener la primera plancha según reglamento, y después valores empleados para el cálculo del posicionamiento y la longitud de todas las planchas. Y finalmente en la derecha encontramos unos esquemas de los planos del buque con el tramo en el que estamos trabajando resaltado en rojo.

Cabe decir que todo el cálculo de las planchas está automatizado y el usuario no tiene que hacer nada, si se quisiese cambiar la longitud de las planchas se puede realizar mediante la celda desplegable con el nombre “Longitud plancha” la cual da múltiples opciones para cada tramo.

Autoguardado TFG Daniel Baños Fuentes Buscar

Archivo Inicio Insertar Disposición de página Fórmulas **Datos** Revisar Vista Programador Ayuda Foxit Reader PDF

Obtener datos Desde el texto/CSV Desde la web From Table/Range Fuentes recientes Conexiones existentes Consultas y conexiones Actualizar todo Propiedades Editar vínculos

Obtener y transformar datos Consultas y conexiones Tipos de datos Ordenar y filtrar

T25

Introducción de datos															
Variables			No variables												
Eslera	234	Radio pantoque	2000			Calculo plancha de fondo				f1(factor del material)					
Manga	43	Inclinación cubierta	0,05			ancho mínimo		1970,000				1,280 NV-32			
Puntal	21	Puntal en cruja	22,075			espesor mínimo		12,570				sk		1,000	
Planchas															
Fondo															
Nº	longitud (mm)	z (m)	espesor (mm) y (m)			Numero total	Longitud total								
1,000	2200,000	0,000	15,000		1,100	7,000	15300,000								
2,000	2200,000	0,000	15,000		3,300	Ultima plancha	Longitud plancha								
3,000	2200,000	0,000	15,000		5,500	2100,000	2200,000								
4,000	2200,000	0,000	15,000		7,700										
5,000	2200,000	0,000	15,000		9,900										
6,000	2200,000	0,000	15,000		12,100										
7,000	2100,000	0,000	15,000		14,250										
8,000	NO	0,000	15,000		#VALOR!										
9,000	NO	0,000	15,000		#VALOR!										
10,000	NO	0,000	15,000		#VALOR!										
resto del fondo hasta pantoque															
Nº	longitud (mm)	z (m)	espesor (mm) y (m)												
1,000	2000,000	0,000	15,000		16,300										
2,000	2200,000	0,000	15,000		18,400										
Pantoque															
Nº	longitud (mm)	z (m)	espesor (mm) y (m)												
1,000	3200,000	0,727	20,000		21,500										
Costado															
Nº	longitud (mm)	z (m)	espesor (mm) y (m)			Numero total	Longitud total								
1,000	2800,000	3,460	15,000		21,500	7,000	18900,000								
2,000	2800,000	6,260	15,500		21,500	Ultima plancha	Longitud plancha								
3,000	2800,000	9,060	16,500		21,500	2100,000	2800,000								
4,000	2800,000	11,860	16,500		21,500										
5,000	2800,000	14,660	17,000		21,500										
6,000	2800,000	17,460	16,000		21,500										
7,000	2100,000	19,310	16,000		21,500										
8,000	NO	#VALOR!	20,000		21,500										
9,000	NO	#VALOR!	20,000		21,500										
10,000	NO	#VALOR!	20,000		21,500										



Autoguardado TFG Daniel Baños Fuentes - Guardado

Buscar

Archivo Inicio Insertar Disposición de página Fórmulas Datos Revisar Vista Programador Ayuda Foxit Reader PDF

Obtener datos Desde el texto/CSV Desde la web From Table/Range Fuentes recientes Conexiones existentes Actualizar todo Consultas y conexiones Propiedades Editar vínculos

Obtener y transformar datos Consultas y conexiones Tipos de datos Ordenar y filtrar

W80

Cubierta						Numero total	Longitud total
Nº	longitud (mm)	z (m)	espesor (mm)	y (m)			
1,000	2800,000	22,008	18,000	1,333	8,000	21526,858	21,527
2,000	2800,000	21,875	18,000	4,000	Ultima plancha	Longitud plancha	
3,000	2800,000	21,742	18,000	6,667	1926,858	2800,000	
4,000	2800,000	21,608	18,000	9,333			
5,000	2800,000	21,475	18,000	12,000			
6,000	2800,000	21,342	16,000	14,667			
7,000	2800,000	21,208	16,000	17,333			
8,000	1926,858	21,096	16,000	19,584			
9,000	NO	#¡VALOR!	20,000	#¡VALOR!			
10,000	NO	#¡VALOR!	20,000	#¡VALOR!			

Doble Fondo						Numero total	Longitud total
Nº	longitud (mm)	z (m)	espesor (mm)	y (m)			
1,000	2200,000	2,400	17,000	1,100	7,000	15300,000	
2,000	2200,000	2,400	17,000	3,300	Ultima plancha	Longitud plancha	
3,000	2200,000	2,400	17,000	5,500	2100,000	2200,000	
4,000	2200,000	2,400	17,000	7,700			
5,000	2200,000	2,400	17,000	9,900			
6,000	2200,000	2,400	17,000	12,100			
7,000	2100,000	2,400	17,000	14,250			
8,000	NO	2,400	17,000	#¡VALOR!			
9,000	NO	2,400	17,000	#¡VALOR!			
10,000	NO	2,400	17,000	#¡VALOR!			

Tanque bajo (parte superior)						Longitud total	Lado horiz
Nº	longitud (mm)	z (m)	espesor (mm)	y (m)			
1,000	3000,000	3,446	18,000	16,375	5,162	3,7	
2,000	2300,000	5,374	18,000	18,274			

Costado interior						Numero total	Longitud total
Nº	longitud (mm)	z (m)	espesor (mm)	y (m)			
1,000	2600,000	7,300	18,000	19,000	5,000	12900,000	
2,000	2600,000	9,900	16,500	19,000	Ultima plancha	Longitud plancha	
3,000	2600,000	12,500	16,000	19,000	2500,000	2600,000	
4,000	2600,000	15,100	17,000	19,000			
5,000	2500,000	17,650	17,000	19,000			
6,000	#N/D	#N/D	16,500	19,000			
7,000	#N/D	#N/D	16,000	19,000			
8,000	#N/D	#N/D	16,500	19,000			
9,000	#N/D	#N/D	18,000	19,000			
10,000	#N/D	#N/D	18,000	19,000			

En esta hoja los espesores de las planchas y sus longitudes son celdas desplegables dándonos la opción a elegir otros que sean de nuestro interés, estas celdas desplegables son las que tienen un color azul claro de fondo.

En los tramos como la cubierta, doble fondo y costado interior entre otros hay planchas extra por si el usuario decide aumentar el puntal o la manga del buque, las celdas que son representadas con “#NO”, “NO” o “¡VALOR!” son celdas que se rellenarían automáticamente con valores válidos si se produjese un aumento de estos.

Esta es la última parte de la hoja 2 (planchas).

Autoguardado TFG Daniel Baños Fuentes Buscar

Archivo Inicio Insertar Disposición de página Fórmulas **Datos** Revisar Vista Programador Ayuda Foxit Reader PDF

Obtener datos Desde el texto/CSV Desde la web From Table/Range Fuentes recientes Conexiones existentes Actualizar todo Consultas y conexiones Propiedades Editar vínculos Cotizaciones Informació... Ordenar Filtro Avanz

Obtener y transformar datos Consultas y conexiones Tipos de datos Ordenar y filtrar

E106 17

Mamparo crujía				
Nº	longitud (mm)	z (m)	espesor (mm)	y (m)
1,000	2800,000	1,400	17,000	0,000
2,000	2800,000	4,200	17,000	0,000
3,000	2800,000	7,000	17,000	0,000
4,000	2800,000	9,800	17,000	0,000
5,000	2800,000	12,600	17,000	0,000
6,000	2800,000	15,400	17,000	0,000
7,000	2800,000	18,200	17,000	0,000
8,000	2475,000	20,838	17,000	0,000
9,000	NO	23,476	17,000	0,000
10,000	NO	26,114	17,000	0,000
11,000	NO	28,752	17,000	0,000
12,000	NO	31,390	17,000	0,000

Numero total 8,000 Longitud total 22075,000

Ultima plancha 2475,000 Longitud plancha 2800,000

Palmejar de costado y Vagria

Nº	longitud (mm)	z (m)	espesor (mm)	y (m)
1,000	2400,000	1,200	16,000	15,300
2,000	2500,000	6,000	16,000	20,250
3,000	2500,000	10,250	12,000	20,250
4,000	2500,000	15,625	12,000	20,250

Nota: z(4) varia con T del buque

Introducción datos **Planchas** Refuerzos Base de datos tipos de refuerzo Modulo, inercia y eje neutro

### 2.3- HOJA 3

En la hoja 3 se encuentran todos los refuerzos del buque y todo lo relacionado con los mismos para ayudar con sus cálculos.

Para su estructura se ha empleado un formato similar a la hoja 2 (planchas).

En el principio a la izquierda podemos encontrar la introducción de datos otra vez, que se alimenta de la tabla de la primera página, y debajo de esto están todos los refuerzos tramo a tramo, indicando su número, posición y tipo.

En el centro de la hoja, lo primero que vemos es un botón que se encarga de actualizar los cambios realizados en los refuerzos, pudiendo ser estos cambios de manga, puntal o espaciado entre refuerzos, su código se explicará en el cuarto punto del trabajo. Debajo de esto se encuentran una serie de celdas empleadas para los cálculos que ayudan a determinar el posicionamiento y el número de refuerzos y una celda desplegable que nos permite seleccionar el espaciado entre los refuerzos.

Finalmente, en la derecha podemos observar una nota, que explica la celda desplegable y el esquema de la sección del buque con el tramo en el que estamos trabajando resaltado en rojo.

En esta hoja todo lo que se puede modificar es el escantillón del refuerzo y el espaciado que queremos que tengan los refuerzos, existiendo la opción de “Automático” dentro de la celda llamada seleccionar espaciados, que tiene su código en el botón “Actualizar cambios en los refuerzos” y lo que hace esto es elegir el espaciado óptimo para dicho tramo buscando si hay algún número de refuerzos que provoque una división exacta y si no seleccionando un número de refuerzos que proporciona una división de tal manera que el espaciado de refuerzos intermedios (que es el mismo para cada refuerzo entre sí) sea lo más cercano posible a la distancia de los refuerzos a los extremos del tramo.

Esta distancia de los refuerzos a los extremos del tramo está representada bajo la celda con su mismo nombre.

Una vez tenemos el espaciado seleccionado en cada sección se calculan las posiciones  $y(m)$  o  $z(m)$  (dependiendo si estamos en un tramo vertical u horizontal) sumando la distancia a los extremos de los refuerzos con la coordenada del punto inicial del tramo para el primer refuerzo y a partir de ahí se va sumando el espaciado de refuerzos que se haya elegido hasta llegar al último refuerzo.

Y22

$x$	$y$	$f_x$
-----	-----	-------

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
1		Introducción de datos																	
2		Variables		No variables					Actualizar cambios en refuerzos			Seleccionar espaciado: Poner en "Automático" si se quiere que en esa sección se realicen cálculos para encontrar el más óptimo posible para ese tramo de refuerzos.							
3		Eslera	234	Radio pantoque	2000														
4		Manga	43	Inclinación cubierta	0,05														
5		Puntal	21	Puntal en crujía	22,075														
6																			
7																			
8																			
9		Refuerzos							Numero total(+1)	Longitud total (m)	Seleccionar espaciado (m)								
10		Fondo							18,000	15,300	Automático								
11		Nº	y (m)	z (m)	Escantillon				Distancia a los extremos (m)		Elección de espaciado (m)								
12		1,000	0,850	0,000	160 x 8				0,850		0,850								
13		2,000	1,700	0,000	120 x 6														
14		3,000	2,550	0,000	140 x 8														
15		4,000	3,400	0,000	120 x 8				Espaciado	Numero total(+1)	Resto								
16		5,000	4,250	0,000	120 x 8				0,800	19,125	0,050								
17		6,000	5,100	0,000	120 x 8				0,810	18,889	0,360								
18		7,000	5,950	0,000	120 x 7				0,820	18,659	0,270								
19		8,000	6,800	0,000	120 x 6				0,830	18,434	0,180								
20		9,000	7,650	0,000	120 x 8				0,840	18,214	0,090								
21		10,000	8,500	0,000	120 x 6				0,850	18,000	0,000								
22		11,000	9,350	0,000	140 x 10				0,860	17,791	0,340								
23		12,000	10,200	0,000	120 x 6				0,870	17,586	0,255								
24		13,000	11,050	0,000	100 x 7				0,880	17,386	0,170								
25		14,000	11,900	0,000	100 x 7				0,890	17,191	0,085								
26		15,000	12,750	0,000	100 x 8				0,900	17,000	0,000								
27		16,000	13,600	0,000	100 x 7				Automático										
28		17,000	14,450	0,000	100 x 7														
29		18,000	NO	0,000	100 x 7														
30		19,000	NO	0,000	160 x 9														
31		20,000	NO	0,000	100 x 7														
32		21,000	NO	0,000	140 x 7														
33		Resto del fondo hasta pantoque (fijos)							Distancia a los extremos (m)	Numero total(+1)	Longitud total	Espaciado							
34		Nº	y (m)	z (m)	Escantillon				0,700	6,000	4,200	0,700							
35		1,000	16,000	0,000	140 x 7														
36		2,000	16,700	0,000	100 x 7														
37		3,000	17,400	0,000	80 x 6														
38		4,000	18,100	0,000	100 x 7														
39		5,000	18,800	0,000	100 x 7														
40																			
41		Refuerzos final de pantoque por costado (fijos)							Distancia a los extremos (m)	Numero total	Longitud total	Espaciado							
42		Nº	y (m)	z (m)	Escantillon				0,800	5,000	4,000	0,800							
43		1,000	21,500	2,000	160 x 8														
44		2,000	21,500	2,800	100 x 7														

En estas dos imágenes se puede ver cómo se puede elegir tanto el escantillón del refuerzo como el espaciado entre los refuerzos, algunos tramos de refuerzos son fijos y en estos no se podrá elegir el espaciado no existiendo celda para ello en la hoja de cálculo, se verán en el punto 4.3.

En el punto 4 se van a volcar todas las tablas explicando cómo funciona el código detrás del trabajo.

Numero total(+1)	Longitud total	Seleccionar Espaciado
7,072	5,375	Automático
Distancia a los extremos		0,8
0,788		0,810
		0,82
		0,830
		0,84
		0,850
		0,900
		Automático
Espaciado	Numero total(+1)	
0,750	7,167	
0,76	7,072	0,027
0,770	6,981	0,378
0,78	6,891	0,348
0,790	6,804	0,318
0,8	6,719	0,288
0,810	6,636	0,258
0,82	6,555	0,228
0,830	6,476	0,198
0,84	6,399	0,168
0,850	6,324	0,138
0,900	5,972	0,438
Automático		

Doble Fondo			
Nº	y (m)	z (m)	Escantillon
1,000	0,850	2,400	120 x 8
2,000	1,700		120 x 8
3,000	2,550		140 x 7
4,000	3,400		140 x 8
5,000	4,250		140 x 10
6,000	5,100		160 x 7
7,000	5,950		160 x 8
8,000	6,800		160 x 9
9,000	7,650		160 x 11
10,000	8,500	2,400	100 x 7
11,000	9,350	2,400	120 x 7
12,000	10,200	2,400	100 x 7
13,000	11,050	2,400	120 x 7
			120 x 7
			100 x 7
			120 x 7
			100 x 7
			120 x 6
			120 x 6

## 2.4- HOJA 4

En esta hoja se ha introducido la base de datos de los tipos de refuerzos de los cuales se alimenta la elección de estos en la hoja anterior. Se puede ver una imagen explicativa de la forma y dimensiones de los refuerzos con perfil llanta con bulbo.

Autoguardado TFG Daniel Baños Fuentes - Guardado

Archivo Inicio Insertar Disposición de página Fórmulas Datos Revisar Vista Programar

Pegar Cortar Copiar Copiar formato

Portapapeles Fuente Nuevo grupo Alineación

R16

Tipos de refuerzos

Dimensión nominal	Dimensiones para				Sección transversal	Masa/Ud de longitud	Superficie lateral	Distancia al centro de gravedad	Características geométricas respecto al eje x-x	
	b mm	t mm	c mm	r mm	A cm <sup>2</sup>	G Kg/m	U m <sup>2</sup> /m	d m	I <sub>x</sub> cm <sup>4</sup> momento de inercia	W <sub>x</sub> cm <sup>3</sup> módulo elástico
80 x 5	80	5	14	4	5,41	4,25	0,189	0,049	0,003387	6,91
80 x 6	80	6	14	4	6,21	4,88	0,191	0,0478	0,00387	8,1
100 x 7	100	7	15,5	4,5	8,74	6,68	0,236	0,0587	0,00853	14,5
100 x 8	100	8	15,5	4,5	9,74	7,65	0,238	0,0578	0,00943	16,3
120 x 6	120	6	17	5	9,32	7,32	0,276	0,0721	0,0133	18,5
120 x 7	120	7	17	5	10,52	8,26	0,278	0,0707	0,0149	21
120 x 8	140	8	17	5	11,72	9,2	0,28	0,0696	0,0165	23,6
140 x 7	140	7	19	5,5	12,43	9,75	0,32	0,0832	0,0241	29
140 x 8	140	8	19	5,5	13,83	10,85	0,322	0,0818	0,0266	32,5
140 x 10	160	10	19	5,5	16,63	13,05	0,326	0,0799	0,0315	39,5
160 x 7	160	7	22	6	14,6	11,46	0,365	0,0966	0,0373	38,6
160 x 8	160	8	22	6	16,2	12,72	0,367	0,095	0,0411	43,3
160 x 9	160	9	22	6	17,8	13,97	0,369	0,0937	0,0449	47,9
160 x 11	180	11	22	6	21	16,49	0,373	0,0916	0,0522	57
180 x 8	180	8	25	7	18,86	14,8	0,411	0,1089	0,0609	55,9
180 x 9	180	9	25	7	20,66	16,22	0,413	0,1073	0,0664	61,8
180 x 10	180	10	25	7	22,46	17,63	0,415	0,1059	0,0717	67,7
180 x 11	200	11	25	7	24,26	19,04	0,417	0,1047	0,077	73,5
200 x 9	200	9	28	8	23,66	18,57	0,457	0,1212	0,0942	77,7
200 x 10	200	10	28	8	25,66	20,14	0,459	0,1196	0,1017	85,1
200 x 11	200	11	28	8	27,66	21,71	0,461	0,1182	0,1091	92,3
200 x 12	220	12	28	8	29,66	23,28	0,463	0,1169	0,1164	99,5
220 x 10	220	10	31	9	29	22,77	0,503	0,1335	0,1396	105
220 x 11	220	11	31	9	31,2	24,5	0,506	0,1319	0,1496	114
220 x 12	240	12	31	9	33,4	26,22	0,507	0,1304	0,1595	122

Introducción datos Planchas Refuerzos Base de datos tipos de refuerzo Modulo, i





## 2.5- HOJA 5

Esta es la última hoja en la hoja de cálculo, se trata de la tabla para el cálculo del módulo de la sección maestra y los resultados de los cálculos de la  $I_{EN}$ ,  $I_{zz}$  y los valores de la inercia.

Esta tabla es una tabla desplegable, donde están agrupados por secciones las planchas y posteriormente los refuerzos, cuenta con un botón llamado “Volcar datos a la tabla”, el título es bastante descriptivo a su función, cuando se realizan cambios en las otras hojas del trabajo hay que pulsarlo para que esos cambios se actualicen en esta tabla, el código se enseñará y explicará posteriormente en el Punto 4 del trabajo.

En la tabla están todos los valores necesarios para poder aplicar el método del cálculo del módulo de la maestra explicado en el Punto 1 del trabajo.

En la figura se muestra la tabla resumen de resultados.

230					
239					
240	Resultados				
241	$h_{EN}$ m	9,222			
242	$0,5 I_{zz}$ cm <sup>4</sup>	3468859,552			
243	Teorema ejes paralelos				
244	$0,5 I$ cm <sup>4</sup>	1541109,505			
245	Valores totales				
246	$A$ cm <sup>2</sup>	45331,737			
247	$I$ cm <sup>4</sup>	3082219,010			
248	$Z_c$ cm <sup>3</sup>	91250,111			
249	$Z_Q$ cm <sup>3</sup>	334213,752			
250					
251					
252					
	Introducción datos	Planchas	Refuerzos	Base de datos tipos de refuerzo	Modulo, inercia y eje



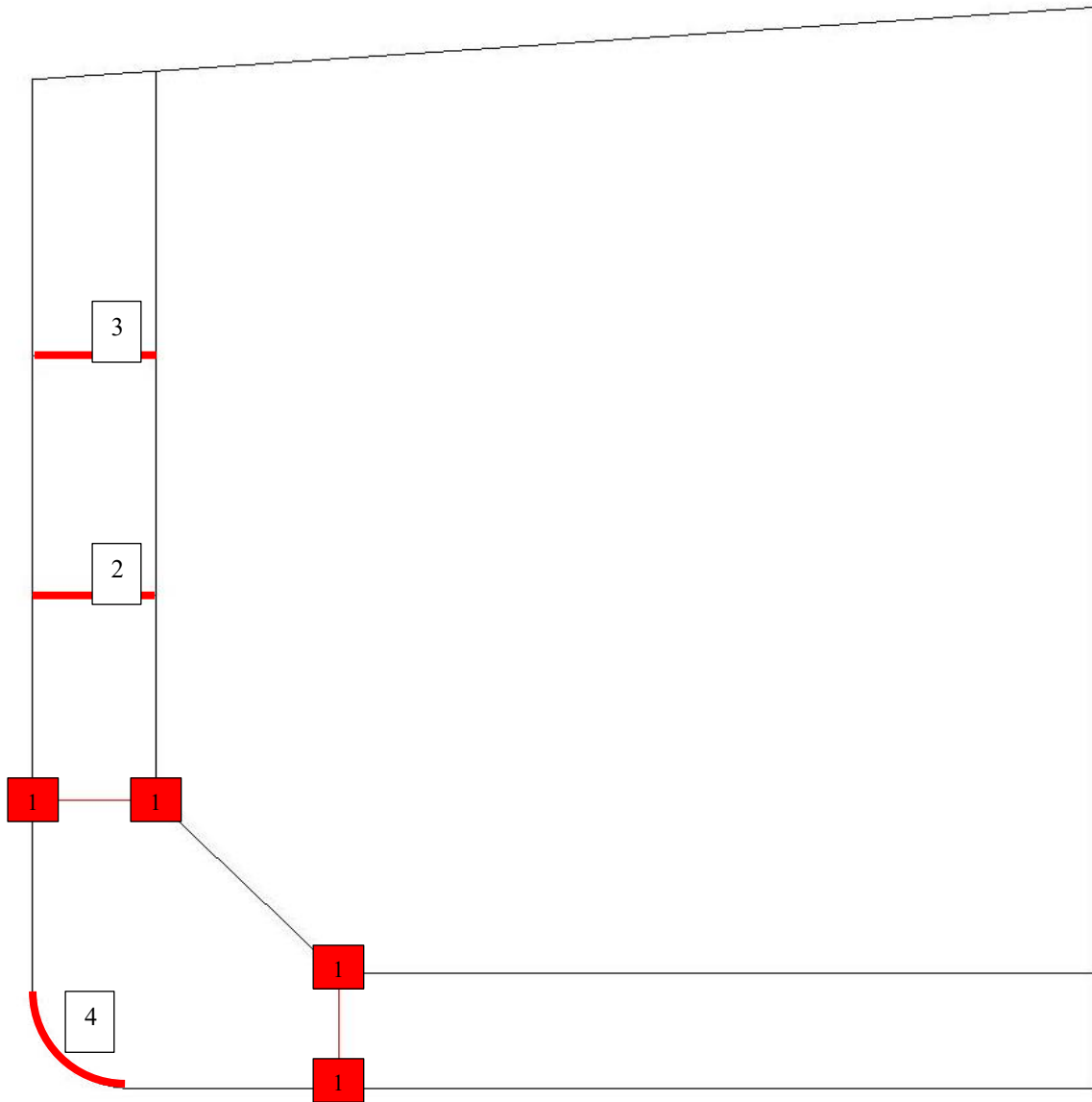




### 3.- LIMITACIONES QUE TIENE EL TRABAJO.

En este punto se va a hablar de lo que no se ha podido realizar con el trabajo, la mayoría de estas limitaciones de deben a que Excel no es capaz de realizar algunas cosas ya que su lenguaje de programación es muy básico, o que al ser de esta forma su lenguaje otras cosas serían tan difíciles de hacer que quedan fuera del límite del trabajo.

Estas limitaciones se van a explicar sobre el esquema de la sección maestra del buque.



1- Los puntos marcados como 1 están bloqueados, su posición relativa no varía con las dimensiones del buque, es decir que la distancia de los puntos 1 entre sí siempre será fija. Esto se ha realizado porque si implementase esto, habría que implementar que se pudiesen variar la altura de doble fondo y la distancia del costado interior (doble casco) al costado, y esto también haría que cambiase el ángulo que toma el mamparo inclinado del tanque inferior, todo esto añade muchas variables y trabajando solo con las celdas de Excel sería prácticamente imposible, llevando a celdas con más de 8 líneas de texto dentro donde se vuelve un caos comprobar errores.

2- La altura del palmejar 2 es fija.

3- La altura del palmejar 3 es la altura restante entre 2 y el puntal dividida entre dos.

4- El radio del pantoque es fijo

5- Los tramos que son fijos, al ser invariables no se ha añadido que se puedan modificar la distancia entre sus refuerzos, porque la que está elegida es la óptima y en ingeniería cuando tienes algo que es de superior calidad no tiene sentido cambiarlo por algo inferior, el tipo de refuerzo si se puede elegir.

6- Los refuerzos del costado interior están situados en la misma horizontal que los refuerzos del costado (apuntando a la dirección contraria), y a su vez los refuerzos del fondo están situados sobre los del doble fondo, es decir caen en la misma vertical. Esta restricción se ha hecho en base a simplificar los planos y en base a la observación de los planos de otros buques petroleros donde se ha visto que esto siempre es así, se podría modificar para implementar que se pueda elegir la separación entre sus refuerzos si se quisiese.

7- Funcionamiento del código detrás de la elección “automático” en la celda seleccionar espaciado para los refuerzos: Primero el código lee que se ha elegido “automático” y después busca mediante una función establecida los valores 0,01 ,0,02 y 0,03 entre la tabla de restos (siendo los restos la diferencia entre el espaciado de los refuerzos con la distancia a los extremos de los refuerzos) y si lo encuentra elegiría el espaciado correspondiente a ese resto, si no lo encuentra busca un resto  $\geq 0$  y  $< 0,05$  u 0,06 (varía respecto al tramo de refuerzos en el que se encuentre) y entonces elegiría ese espaciado para los refuerzos. Los rangos de valores están calculados y comprobados con todos los posibles valores de puntal y manga para que el código siempre sea válido y no de error por no existir restos dentro de los rangos.

## 4.- CÁLCULOS Y PROGRAMACIÓN DENTRO DE LA HOJA DE CÁLCULO.

### 4.1- ESPESOR Y LONGITUD MÍNIMOS PLANCHA DE FONDO EN LA TRACA DE LA QUILLA.

El primer cálculo que hay que realizar es un cálculo de reglamento para averiguar en base a la eslora del buque, un coeficiente llamado  $t_k$  (espesor añadido por corrosión) y  $f_1$  (factor del material) el espesor mínimo de la plancha de fondo y su ancho mínimo.

El reglamento de DNV en la sección C 301 dice que: La plancha de quilla tendrá una anchura  $b = 800 + 5L$  y el espesor no será menor de:

$$t = 7.0 + 0.05 \frac{L}{\sqrt{f_1}} + t_k$$

Siendo  $f_1 = 1,28$  al ser acero NV-32

$L = 234m$

$t_k = 1mm$  al ser la plancha de fondo y el tanque de lastre.

Calculo plancha de fondo	
ancho mínimo (mm)	1970,000
espesor mínimo (mm)	12,570

### 4.2- DISPOSICIÓN DE LAS PLANCHAS

Teniendo esto en cuenta para la primera plancha, pasamos al cálculo de la disposición de las planchas, que se ha realizado tramo a tramo de la siguiente forma.

El procedimiento general es el siguiente: se calcula la longitud del tramo (en los tramos que son variables), y se calcula el número total de planchas dividiendo dicha longitud entre una longitud de plancha fija tomada por observación de planos constructivos de buques, esto quiere decir que en cada distinto tramo la distancia por la que es dividida, que será la longitud de las planchas es distinta, a esta división ya que no es exacta se coge el entero de la misma y se le suma 1, teniendo así en cada tramo  $x$  planchas,  $x-1$  iguales y la última con la longitud restante del tramo.

Los tramos que son de longitud invariable tienen sus planchas fijas.

Ejemplo del tramo de fondo:



Planchas						
Fondo						
Nº	longitud (mm)	z (m)	espesor (mm)	y(m)	Número total	Longitud total
1,000	2200,000	0,000	19,000	1,100	7,000	15300,000
2,000	2200,000	0,000	19,000	3,300		
3,000	2200,000	0,000	19,000	5,500		
4,000	2200,000	0,000	19,000	7,700	Ultima plancha	Longitud plancha
5,000	2200,000	0,000	19,000	9,900	2100,000	2200,000
6,000	2200,000	0,000	19,000	12,100		
7,000	2100,000	0,000	19,000	14,250		
8,000	NO	0,000	19,000	#¡VALOR!		
9,000	NO	0,000	19,000	#¡VALOR!		
10,000	NO	0,000	19,000	#¡VALOR!		

Se va a explicar este ejemplo en detalle y en el resto lo que varía respecto a este.

La longitud total: el contenido de la celda es  $=((C4/2)-6,2)*10^3$ . Siendo C4 la manga, y el 6,2 son metros para la distancia restante que es fija hasta el costado.

En número total tenemos  $=\text{ENTERO}(I11/I14)+1$ . I11 es la longitud total, y I14 es la longitud de la plancha en milímetros que en este tramo se puede elegir entre 1800,2000,2200 y 2400. El usuario deberá tener en cuenta el cálculo del ancho mínimo de la plancha de la página anterior y elegir una longitud mayor a este mínimo.

Última plancha  $=I11-(H11-1)*I14$ . H11 es el número total.

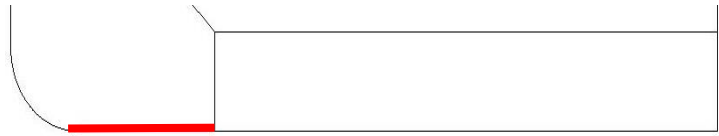
El espesor se puede elegir, tiene que ser mayor que el mínimo calculado y se puede elegir entre 12 y 20mm con intervalos de 0,5mm. Los espesores que están puestos en el trabajo como ejemplo están sacados del petrolero modelo del tutorial de Nauticus Hull.

y(m) es la posición del centro de gravedad de la plancha respecto a crujía y z(m) es la posición vertical del centro de gravedad de esta respecto a la línea base. El contenido de y(m) es  $=(C12/2)*10^{-3}$  para la primera y  $=(\text{SUMA}(C12:Cxx-1)+(Cxx/2))*10^{-3}$  para el resto. Siendo Cxx la longitud de la plancha correspondiente a esa y.

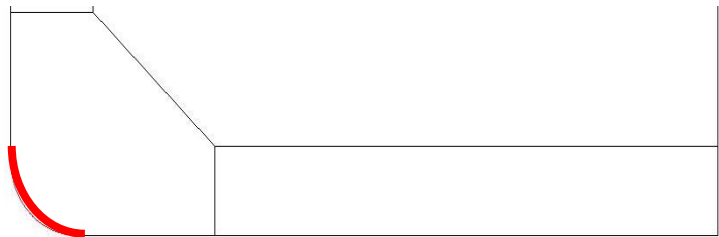
El código que encontramos en las celdas longitud es el siguiente  $=\text{SI.CONJUNTO}(Bxx<\$H\$11;\$I\$14;Bxx=\$H\$11;\$H\$14;Bxx>\$H\$11;"NO")$ . Bxx es la columna de números, lo que hace el código es lo siguiente: si el número de la plancha es menor al número total entonces la longitud es igual a la longitud elegida, si el número es igual al número total (eso indicaría q es la última plancha) escribe el valor de la última plancha y si es mayor escribe "NO".

La tabla tiene huecos extra que están tenidos en cuenta por sí el usuario decide aumentar la manga con un máximo de 49m permitido.

A continuación, tenemos los tramos: **Resto del fondo hasta el pantoque y Pantoque**. Estos dos tramos son fijos.



resto del fondo hasta pantoque				
Nº	longitud (mm)	z (m)	espesor (mm)	y(m)
1,000	2000,000	0,000	19,000	16,300
2,000	2200,000	0,000	19,000	18,400

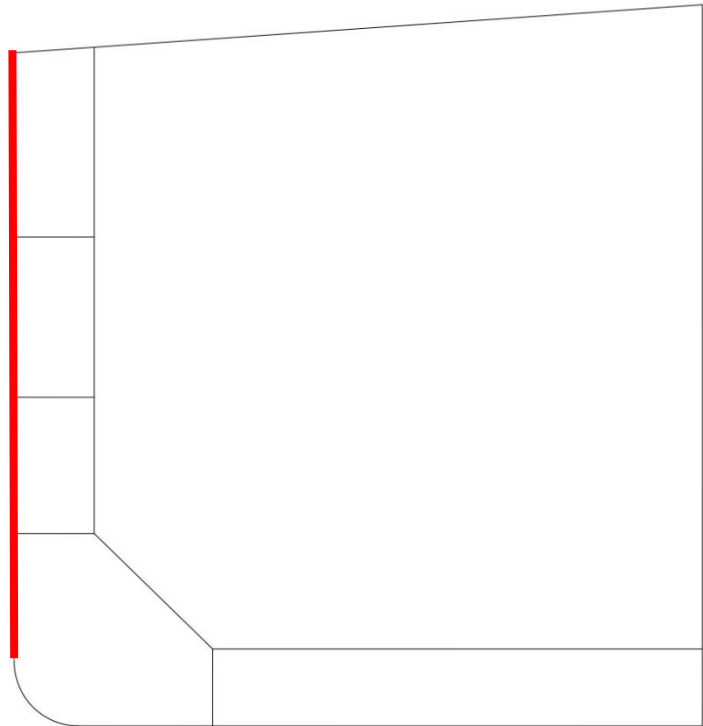


Pantoque				
Nº	longitud (mm)	z (m)	espesor (mm)	y(m)
1,000	3200,000	0,727	20,000	21,500

La altura del centro de gravedad del pantoque está calculada mediante la siguiente fórmula:

$$y = \frac{(\pi - 2)r}{\pi}$$

### Costado



Costado				
Nº	longitud (mm)	z (m)	espesor (mm)	y(m)
1,000	2800,000	3,460	16,000	21,500
2,000	2800,000	6,260	16,500	21,500
3,000	2800,000	9,060	16,500	21,500
4,000	2800,000	11,860	16,500	21,500
5,000	2800,000	14,660	17,000	21,500
6,000	2800,000	17,460	16,000	21,500
7,000	2100,000	19,910	16,000	21,500
8,000	NO	#¡VALOR!	20,000	21,500
9,000	NO	#¡VALOR!	20,000	21,500
10,000	NO	#¡VALOR!	20,000	21,500

Número total	Longitud total
7,000	18900,000
Ultima plancha	Longitud plancha
2100,000	2800,000

La longitud total es calculada de la siguiente manera:  $=((C5)-2,1)*10^3$ . Siendo C5 igual al puntal del buque y 2,1m la distancia fija hasta el extremo superior de la plancha del pantoque.

La fórmula de las celdas de longitud, de número total de planchas y de última plancha son iguales que en el tramo de fondo. Pudiendo elegir en este tramo entre 2400, 2600 y 2800mm para la longitud de plancha.

En este caso para el centro de gravedad de las planchas y(m) es fija y la que varía es la altura z(m), siendo su código  $=(2060+C34/2)*10^{-3}$  para la primera y  $=(SUMA(C$3$4:Cxx-1)+(Cxx/2))*10^{-3}$  para el resto. Esto quiere decir que suma todas las alturas inferiores a el y añade la mitad de la longitud de la plancha. 2060mm es la altura a la que empieza la primera plancha.

## Cubierta



Número total	Longitud total
8,000	21526,858
Ultima plancha	Longitud plancha
1926,858	2800,000



Cubierta				
Nº	longitud (mm)	z (m)	espesor (mm)	y(m)
1,000	2800,000	22,008	18,000	1,333
2,000	2800,000	21,875	18,000	4,000
3,000	2800,000	21,742	18,000	6,667
4,000	2800,000	21,608	18,000	9,333
5,000	2800,000	21,475	18,000	12,000
6,000	2800,000	21,342	16,000	14,667
7,000	2800,000	21,208	16,000	17,333
8,000	1926,858	21,096	16,000	19,584
9,000	NO	#¡VALOR!	20,000	#¡VALOR!
10,000	NO	#¡VALOR!	20,000	#¡VALOR!

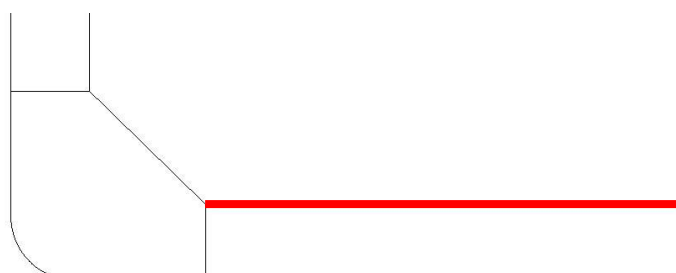
La longitud total de la cubierta está obtenida por Pitágoras siendo el contenido de su celda =RAIZ((C5-F5)^2+(C4/2)^2), donde C5 es el calado, F5 es el puntal en crujía y C4 es la manga.

La fórmula de las celdas de longitud, de número total de planchas y de última plancha son iguales que en el tramo de fondo. Pudiendo elegir en este tramo entre 2600, 2800 y 3000mm para la longitud de plancha.

La columna y(m) se obtiene debido a que la inclinación de la cubierta es conocida, entonces dividimos la distancia desde crujía hasta la mitad de la plancha correspondiente por dicha inclinación. Esto se ve como =(C54/2)/(1+F4)\*10^-3 para la plancha N°1 y =(SUMA(\$C\$54:Cxx-1)+Cxx/2)\*10^-3/(1+F\$4\$) para el resto de planchas, siendo F4 el porcentaje de inclinación y C54 la longitud de la plancha N°1 y Cxx la longitud de la plancha correspondiente al N°xx.

La columna z(m) se obtiene de forma similar a la de y(m), siendo el contenido de las celdas =\$F\$5-Fxx\*\$F\$4. Esto significa que se resta al puntal en crujía la distancia respecto a crujía de la plancha en y(m) que es Fxx multiplicado por el porcentaje de inclinación.

### Doble fondo

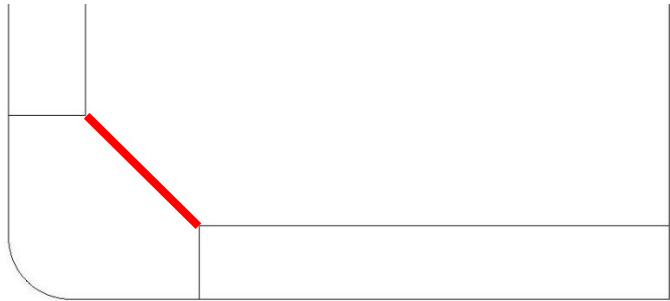


Las planchas de doble fondo tienen las mismas posibilidades de elección que las del fondo para la longitud de la plancha.

Doble Fondo				
Nº	longitud (mm)	z (m)	espesor (mm)	y(m)
1,000	2000,000	2,400	17,000	1,000
2,000	2000,000	2,400	17,000	3,000
3,000	2000,000	2,400	17,000	5,000
4,000	2000,000	2,400	17,000	7,000
5,000	2000,000	2,400	17,000	9,000
6,000	2000,000	2,400	17,000	11,000
7,000	2000,000	2,400	17,000	13,000
8,000	1300,000	2,400	17,000	14,650
9,000	NO	2,400	17,000	#¡VALOR!
10,000	NO	2,400	17,000	#¡VALOR!

Número total	Longitud total
8,000	15300,000
Ultima plancha	Longitud plancha
1300,000	2000,000

### Tanque bajo (parte superior)



Longitud total
5,162

Tanque bajo (parte superior)				
Nº	longitud (mm)	z (m)	espesor (mm)	y(m)
1,000	3000,000	3,446	18,000	16,375
2,000	2300,000	5,374	18,000	18,274

Este tramo se trata de un tramo fijo en el cual solo se puede variar el espesor, aunque el usuario modifique la manga o el calado del buque.

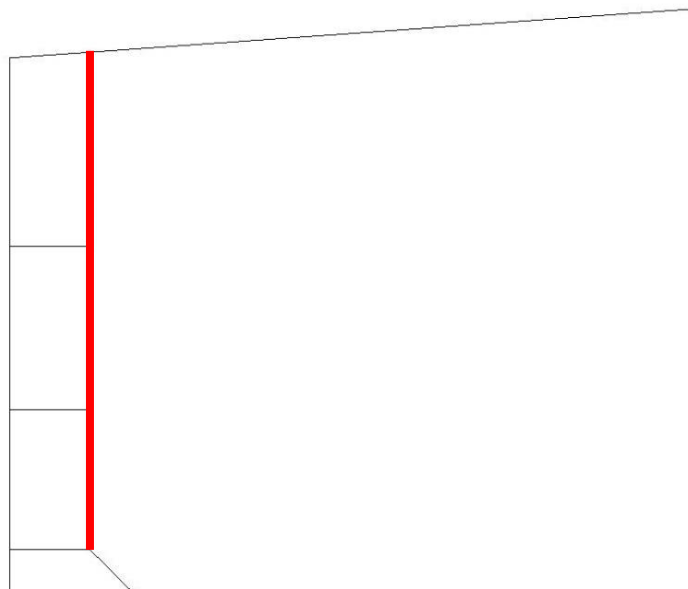
La longitud está calculada por Pitágoras como  $\sqrt{3,6^2 + 3,7^2}$  siendo 3,6 el lado vertical y 3,7 el horizontal.

$y(m) = I66 \cdot 10^{-3} + C80/2 \cdot 10^{-3} / (H79/3,7)$ , donde I66 es la distancia desde crujía hasta el comienzo de la primera plancha C80 la longitud de la plancha N°1, H79 la longitud total y 3,7 el lado horizontal. Para la y(m) de la siguiente plancha lo único que cambia es que se coge la distancia hasta la mitad de la siguiente plancha.

z(m) se calcula de manera similar, también por semejanza de triángulos, como  $= 2,4 + (C80/2) / (H79/3,6) \cdot 10^{-3}$ , donde 2,4 es la altura del doble fondo y 3,6 el lado vertical del triángulo.

### Costado interior

Tanto el costado interior con el costado, como el fondo con el doble fondo tienen una longitud de planchas distintas entre sí para que no coincidan las costuras, hay que tener en cuenta esto a la hora de seleccionarlas.

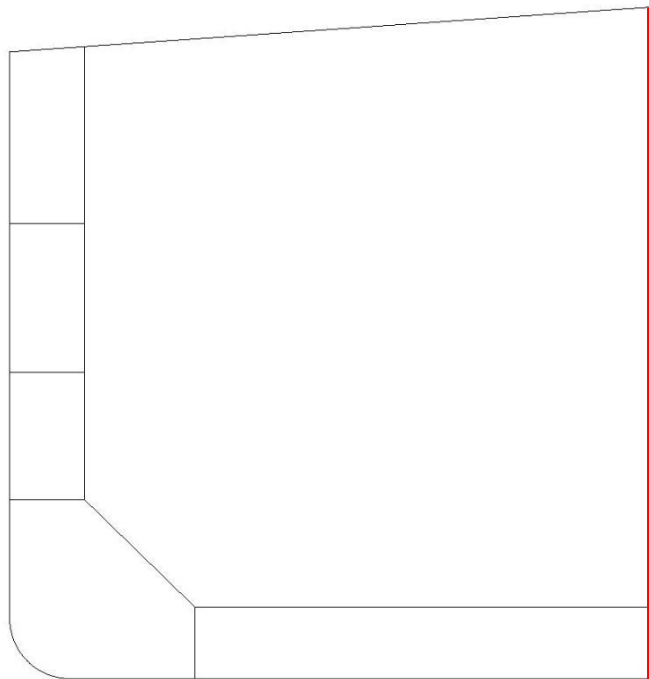


Número total	Longitud total
5,000	12900,000
Ultima plancha	Longitud plancha
2500,000	2600,000

Costado interior				
Nº	longitud (mm)	z (m)	espesor (mm)	y(m)
1,000	2600,000	7,300	18,000	19,000
2,000	2600,000	9,900	15,500	19,000
3,000	2600,000	12,500	16,000	19,000
4,000	2600,000	15,100	17,000	19,000
5,000	2500,000	17,650	17,000	19,000
6,000	#N/D	#N/D	15,500	19,000
7,000	#N/D	#N/D	16,000	19,000

La fórmula de las celdas de longitud, de número total de planchas y de última plancha son iguales que en el tramo de fondo. La altura del centro de gravedad  $z(m)$  es igual a 6,2m (altura a la que empieza la primera plancha desde la línea base) más la mitad de la longitud de la plancha o el sumatorio de planchas correspondiente.

### Mamparo crujía



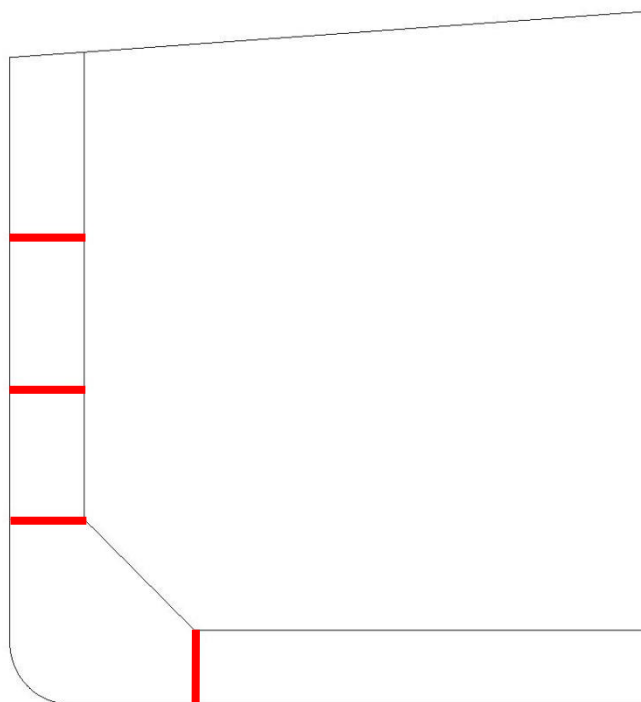
Mamparo crujía				
Nº	longitud (mm)	z (m)	espesor (mm)	y(m)
1,000	2800,000	1,400	17,000	0,000
2,000	2800,000	4,200	17,000	0,000
3,000	2800,000	7,000	17,000	0,000
4,000	2800,000	9,800	17,000	0,000
5,000	2800,000	12,600	17,000	0,000
6,000	2800,000	15,400	17,000	0,000
7,000	2800,000	18,200	17,000	0,000
8,000	2475,000	20,838	17,000	0,000
9,000	NO	#¡VALOR!	17,000	0,000
10,000	NO	#¡VALOR!	17,000	0,000

Número total	Longitud total
8,000	22075,000
Ultima plancha	Longitud plancha
2475,000	2800,000

El procedimiento es exactamente igual que en el apartado anterior y las longitudes que se pueden elegir de plancha son: 2600,2800 y 3000mm.

#### Planchas de palmejar de costado y vagra

Palmejar de costado y Vagra				
Nº	longitud (mm)	z (m)	espesor (mm)	y(m)
1,000	2400,000	1,200	16,000	15,300
2,000	2500,000	6,000	16,000	20,250
3,000	2500,000	10,250	12,000	20,250
4,000	2500,000	15,625	12,000	20,250



En estas planchas, hay que tener en cuenta que la altura de la plancha N°(4), la superior, varía con el calado del buque, todas las demás son fijas. El espesor se puede elegir como en todas las planchas.

El contenido de la celda z(m) para la plancha N°4 es  $=D123+(C5-D123)/2$  donde C5 es el puntal del buque, D123 es z(m) de la plancha anterior (N°3). Esto significa que coge la longitud restante entre la plancha N°3 y la cubierta, la divide entre dos y posiciona ahí en medio la plancha N°4.

### 4.3 DISPOSICIÓN DE LOS REFUERZOS

Los refuerzos, como ya hemos visto anteriormente están estructurados en el Excel de manera similar a las planchas, tramo a tramo, con el primer tramo de refuerzos se va a explicar el procedimiento general empleado para todos los tramos a fondo y después se indicarán sus diferencias de forma individual en el tramo que difiera.

#### Refuerzos fondo



Refuerzos			
Fondo			
Nº	y (m)	z (m)	Escantillón
1,000	0,930	0,000	160 x 8
2,000	1,770	0,000	120 x 6
3,000	2,610	0,000	140 x 8
4,000	3,450	0,000	120 x 8
5,000	4,290	0,000	120 x 8
6,000	5,130	0,000	120 x 8
7,000	5,970	0,000	120 x 7
8,000	6,810	0,000	120 x 6
9,000	7,650	0,000	120 x 8
10,000	8,490	0,000	120 x 6
11,000	9,330	0,000	140 x 10
12,000	10,170	0,000	120 x 6
13,000	11,010	0,000	100 x 7
14,000	11,850	0,000	100 x 7
15,000	12,690	0,000	100 x 8
16,000	13,530	0,000	100 x 7
17,000	14,370	0,000	100 x 7
18,000	NO	0,000	100 x 7
19,000	NO	0,000	160 x 9
20,000	NO	0,000	100 x 7
21,000	NO	0,000	140 x 7

Distancia a los extremos (m)	Elección de espaciado (m)
0,930	0,840

Número total (+1)	Longitud total (m)	Seleccionar espaciado (m)
18,214	15,300	0,840

La longitud del tramo está calculada en el apartado anterior en las planchas. La celda de seleccionar espaciado permite elegir entre 0,8 a 0,9m con saltos de 0,01m y también tiene una opción llamada “automático”.

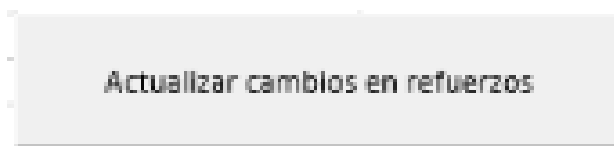
Número total (+1): esto significa que el número de refuerzos real será el entero -1 del número mostrado, el contenido de la celda es  $=J10/L12$ , que es la longitud total dividida por la elección del espaciado.

La celda Distancia a los extremos(m) se refiere a la distancia que queda desde el inicio y final del tramo al refuerzo más cercano, siendo esta distinta a la del resto de refuerzos a no ser que la división para el número de refuerzos sea exacta.

Contenido de las celdas y(m) de este tramo: para la primera  $=I13$ , siendo I13 la distancia de 1º y Ultimo refuerzo. Para el resto  $=SI.CONJUNTO(Bxx<= \$I\$10-1;C12+ \$L\$12;B13> \$I\$10-1;"NO")$ , siendo Bxx el número del refuerzo,  $\$I\$10$  el número total, Cxx-1 y(m) del número anterior y  $\$L\$12$  la elección de espaciado. El funcionamiento de esto es el siguiente, si el número correspondiente al refuerzo es menor o igual al número total menos uno escribe el valor de y(m) de la celda anterior sumándole la elección del espaciado y si es mayor escribe “NO” porque se habrá pasado de distancia.

### **Programación VBA primera macro**

Al principio de la hoja Excel de los refuerzos hay un botón llamado “Actualizar cambios en refuerzos”, esto significa que aunque cambiemos el espaciado que hemos elegido o el tipo de refuerzo no pasa nada hasta que se toque ese botón, veamos como funciona.



El código detrás de este boton es el siguiente módulo creado en excel VBA, que se puede ver en las dos siguientes imágenes.



```
Sub refuerzos222 ()
```

```
Dim hoja As Variant, i As Integer, j As Integer, Mainfram(3) As String
```

```
Mainfram(0) = "0,000"
```

```
Mainfram(1) = "0,010"
```

```
Mainfram(2) = "0,020"
```

```
Set hoja = Hoja3.Range("A1:L200")
```

```
With hoja
```

```
For i = 15 To 25
```

```
    If .Cells(10, 11).Value = .Range("I" & i).Value Then
```

```
        .Cells(12, 12).Value = .Cells(10, 11).Value
```

```
        .Cells(13, 9).Value = .Cells(12, 12).Value + .Range("K" & i).Value
```

```
    Exit For
```

```
    ElseIf IsInArray(.Range("K" & i).Text, Mainfram) And .Cells(10, 11).Value = "Automático" Then
```

```
        .Cells(12, 12).Value = .Range("I" & i).Value
```

```
        .Cells(13, 9).Value = .Cells(12, 12).Value + .Range("K" & i).Value
```

```
    Exit For
```

```
    ElseIf .Range("K" & i).Value > 0# And .Range("K" & i).Value <= 0.05 Then
```

```
        .Cells(12, 12).Value = .Range("I" & i).Value
```

```
        .Cells(13, 9).Value = .Cells(12, 12).Value + .Range("K" & i).Value
```

```
    End If
```

```
Next i
```

```
For i = 87 To 98
```

```
    If .Cells(83, 11).Value = .Range("I" & i).Value Then
```

```
        .Cells(85, 12).Value = .Cells(83, 11).Value
```

```
        .Cells(85, 9).Value = .Cells(85, 12).Value + .Range("K" & i).Value
```

```
    Exit For
```

```
    ElseIf IsInArray(.Range("K" & i).Text, Mainfram) And .Cells(83, 11).Value = "Automático" Then
```

```
        .Cells(85, 12).Value = .Range("I" & i).Value
```

```
        .Cells(85, 9).Value = .Cells(85, 12).Value + .Range("K" & i).Value
```

```
    Exit For
```

```
    ElseIf .Range("K" & i).Value > 0 And .Range("K" & i).Value <= 0.06 Then
```

```
        .Cells(85, 12).Value = .Range("I" & i).Value
```

```
        .Cells(85, 9).Value = .Cells(85, 12).Value + .Range("K" & i).Value
```

```
    End If
```

Microsoft Visual Basic para Aplicaciones - [Módulo1 (Código)]

Lin 50, Col 17

Archivo Edición Ver Insertar Formato Depuración Ejecutar Herramientas Complementos Ventana Ayuda

Proyecto - VBAProject

VBAProject (TFG Daniel Baños Fuentes.xls)

- Microsoft Excel Objetos
  - Hoja1 (Introducción datos)
  - Hoja2 (Planchas)
  - Hoja3 (Refuerzos)
  - Hoja4 (Base de datos tipos de refuerzo)
  - Hoja5 (Modulo, inercia y eje neutro)
  - ThisWorkbook
- Módulos
  - Módulo1
  - Módulo2

Propiedades - Módulo1

Módulo1 Módulo

Alfabética Por categorías

(Name) Módulo1

(General)

refuerzos222

```
Next i

For i = 122 To 133

If .Cells(115, 11).Value = .Range("I" & i).Value Then
.Cells(117, 12).Value = .Cells(115, 11).Value
.Cells(117, 9).Value = .Cells(117, 12).Value + .Range("K" & i).Value
Exit For

ElseIf IsInArray(.Range("K" & i).Text, Mainfram) And .Cells(115, 11).Value = "Automático" Then
.Cells(117, 12).Value = .Range("I" & i).Value
.Cells(117, 9).Value = .Cells(117, 12).Value + .Range("K" & i).Value
Exit For

ElseIf .Range("K" & i).Value > 0 And .Range("K" & i).Value <= 0.06 Then
.Cells(117, 12).Value = .Range("I" & i).Value
.Cells(117, 9).Value = .Cells(117, 12).Value + .Range("K" & i).Value

End If

Next i

For i = 209 To 219

If .Cells(204, 11).Value = .Range("I" & i).Value Then
.Cells(206, 12).Value = .Cells(204, 11).Value
.Cells(207, 9).Value = .Cells(206, 12).Value + .Range("K" & i).Value
Exit For

ElseIf IsInArray(.Range("K" & i).Text, Mainfram) And .Cells(204, 11).Value = "Automático" Then
.Cells(206, 12).Value = .Range("I" & i).Value
.Cells(207, 9).Value = .Cells(206, 12).Value + .Range("K" & i).Value
Exit For

ElseIf .Range("K" & i).Value > 0 And .Range("K" & i).Value <= 0.06 Then
.Cells(206, 12).Value = .Range("I" & i).Value
.Cells(207, 9).Value = .Cells(206, 12).Value + .Range("K" & i).Value

End If

Next i

End With

End Sub

Function IsInArray(stringToBeFound As String, arr As Variant) As Boolean
IsInArray = (UBound(Filter(arr, stringToBeFound)) > -1)
End Function
```

Como en todo lenguaje de programación primero se establecen las variables, para este módulo tenemos hoja como una matriz (array) siendo toda la hoja de los refuerzos, i y j como enteros (integer) y Mainfram como un vector (string).

Con Mainfram y la parte del final Function creo una función que me permite buscar si los valores “0,000” “0,010” y “0,020” están entre los valores llamados resto, para los refuerzos del fondo esos valores los busca en la siguiente tabla. El resto es la diferencia entre el espaciado de los refuerzos y la distancia de los refuerzos a los extremos.

Espaciado	Número total (+1)	Resto
0,800	19,125	0,050
0,810	18,889	0,360
0,820	18,659	0,270
0,830	18,434	0,180
0,840	18,214	0,090
0,850	18,000	0,000
0,860	17,791	0,340
0,870	17,586	0,255
0,880	17,386	0,170
0,890	17,191	0,085
0,900	17,000	0,000

El primer For (for i=15 to 25) hasta next I es el que se emplea para el fondo, se va a explicar lo que hace paso a paso. 15 corresponde fila donde esta situado el primer resto (0,050) y 25 corresponde a la posición a la última fila (0,000).

Primer If: si el valor de seleccionar espaciado corresponde con uno de los valores de los espaciados de la tabla, que son los espaciados que se pueden elegir para el fondo, entonces escribe el que corresponda en la elección de espaciado y en la distancia a los extremos escribe este valor sumándole el resto correspondiente.

Segundo If este es el que emplea la función explicada al principio, y lo que haces es que si hay algún valor en el vector Mainfram que coincida con alguno de los restos (es decir, si algún resto es igual a 0,010, 0,020 o 0,030) y la celda de seleccionar espaciado está puesta en “Automático” entonces elegirá este valor como prioritario sobre el resto de los espaciados y hará lo mismo que en anterior apartado, es decir escogerá el que coincida, lo escribirá en la elección de espaciado y en la distancia a los extremos pondrá ese valor sumándole el resto.

El último If está puesto en caso de que en los restos no haya ninguno que coincida con el vector Mainfram, entonces hace lo mismo que el anterior if pero con cualquier valor >0 y <0,05.

Para los otros For se trata de la misma estructura y lo único que varía es el tramo en el que se está trabajando, para los tramos del costado de 10,25m hasta la cubierta en i= 87 to 98, para el tramo de la cubierta en i=122 to 133 y finalmente para el tramo de los refuerzos del mamparo de crujía de i=209 to 219.

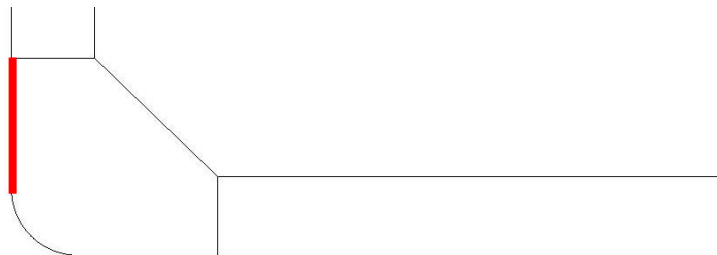
Lo único que cambia en estos tramos entre sí es la tabla de espaciados y la longitud del tramo.

### Refuerzos contiguos al pantoque por ambos costados



Resto del fondo hasta pantoque (fijos)			
Nº	y (m)	z (m)	Escantillón
1,000	16,000	0,000	140 x 7
2,000	16,700	0,000	100 x 7
3,000	17,400	0,000	80 x 6
4,000	18,100	0,000	100 x 7
5,000	18,800	0,000	100 x 7

Distancia a los extremos (m)	Número total (+1)	Longitud total	Espaciado
0,700	6,000	4,200	0,700



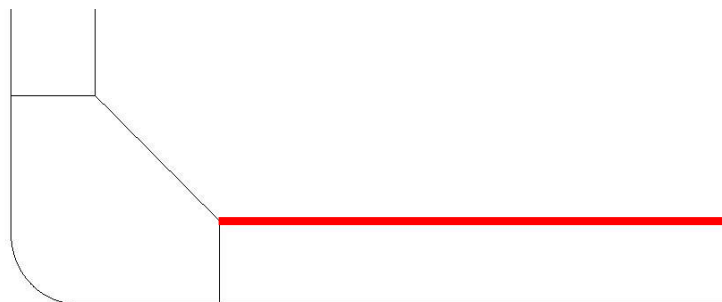
Refuerzos finales de pantoque por costado (fijos)			
Nº	y (m)	z (m)	Escantillón
1,000	21,500	2,000	160 x 8
2,000	21,500	2,800	100 x 7
3,000	21,500	3,600	100 x 8
4,000	21,500	4,400	100 x 8
5,000	21,500	5,200	100 x 8

Distancia a los extremos (m)	Número total	Longitud total	Espaciado
0,800	5,000	4,000	0,800

Estos dos grupos de refuerzos son fijos, esto quiere decir que no se modifican automáticamente su número ni espaciado/distancia a los extremos, sí su posición relativa respecto a crujía y la línea base si la manga o el puntal aumentasen, pero se pueden modificar a mano si el usuario quisiera. El tipo se puede seleccionar siendo celda desplegable al igual que en todos los refuerzos.

Los espaciados están calculados para que tengan la misma distancia entre sí y hacia los extremos. En la primera tabla y(m) empieza donde acaba el tramo fondo, a partir de ahí se sumaría la distancia a los extremos y después el espaciado. En el caso de la segunda tabla el primer refuerzo está situado justo al terminar la curvatura del pantoque, y a partir de ahí se suma el espaciado de cada refuerzo, el tramo termina en z=6m.

### Doble fondo



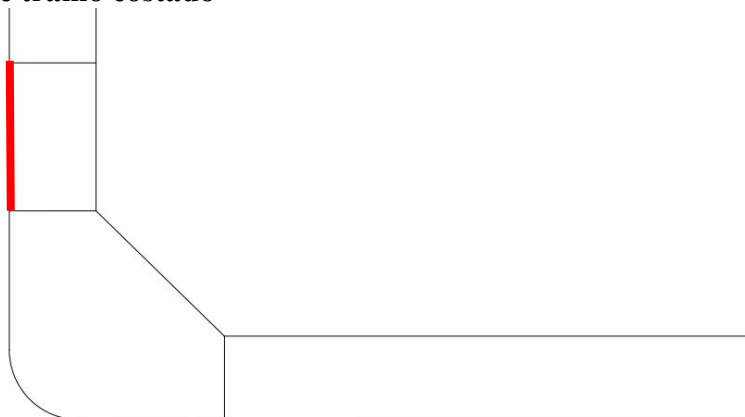
Doble Fondo			
Nº	y (m)	z (m)	Escantillón
1,000	0,850	2,400	120 x 8
2,000	1,700	2,400	140 x 7
3,000	2,550	2,400	120 x 8
4,000	3,400	2,400	100 x 7
5,000	4,250	2,400	120 x 6
6,000	5,100	2,400	100 x 7
7,000	5,950	2,400	100 x 7
8,000	6,800	2,400	120 x 7
9,000	7,650	2,400	100 x 7
10,000	8,500	2,400	120 x 7
11,000	9,350	2,400	100 x 7
12,000	10,200	2,400	120 x 6
13,000	11,050	2,400	120 x 6
14,000	11,900	2,400	120 x 7

15,000	12,750	2,400	120 x 6
16,000	13,600	2,400	120 x 7
17,000	14,450	2,400	120 x 6
18,000	NO	2,400	120 x 6
19,000	NO	2,400	120 x 6
20,000	NO	2,400	100 x 8

Este tramo no tiene ningún cálculo ni celdas o tablas extras porque está hecho para que los refuerzos del doble fondo coincidan en la misma vertical que los del fondo, pero colocados en el sentido contrario, es decir estos refuerzos van en dirección hacia el fondo.

Aunque no se permita elegir el espaciado de refuerzos para que estén situados en la misma vertical que los del fondo el escantillón de los refuerzos se puede modificar individualmente.

#### Siguiente tramo costado

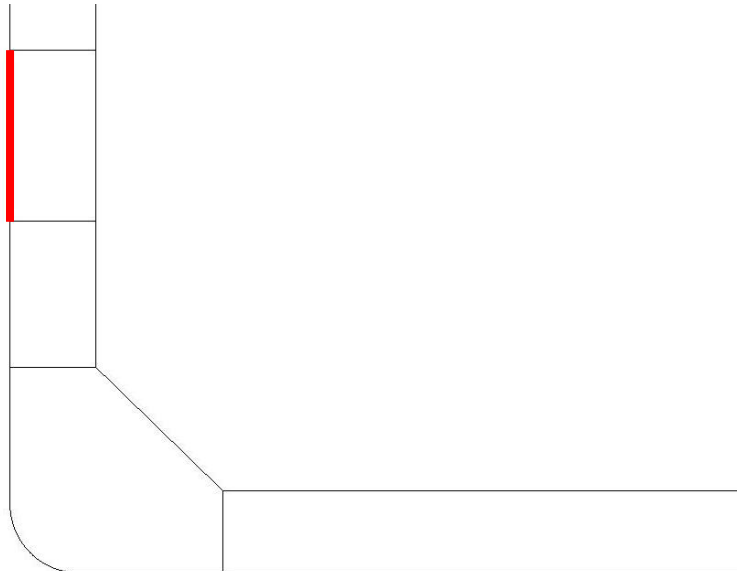


Costado para $6 < z < 10,25$ (tramo fijo)			
Nº	y (m)	z (m)	Escantillón
1,000	21,500	6,850	120 x 6
2,000	21,500	7,700	120 x 6
3,000	21,500	8,550	100 x 8
4,000	21,500	9,400	100 x 8

Distancia a los extremos (m)	Número total (+1)	Longitud total	Espaciado
0,850	5,000	4,250	0,850

Se trata de otro tramo fijo, empieza en  $z=6\text{m}$  y cuenta con un espaciado igual a la distancia a los extremos, este tramo acaba en  $z=10,25\text{m}$ .

### Tramo variable del costado



Costado 10,25>z>Primera mitad			
Nº	y (m)	z (m)	Escantillón
1,000	21,500	11,038	100 x 8
2,000	21,500	11,798	100 x 8
3,000	21,500	12,558	120 x 7
4,000	21,500	13,318	120 x 6
5,000	21,500	14,078	120 x 8
6,000	21,500	14,838	120 x 8
7,000	21,500	NO	120 x 8
8,000	21,500	NO	120 x 7
9,000	21,500	NO	120 x 6

Número total (+1)	Longitud total	Seleccionar Espaciado
7,072	5,375	Automático

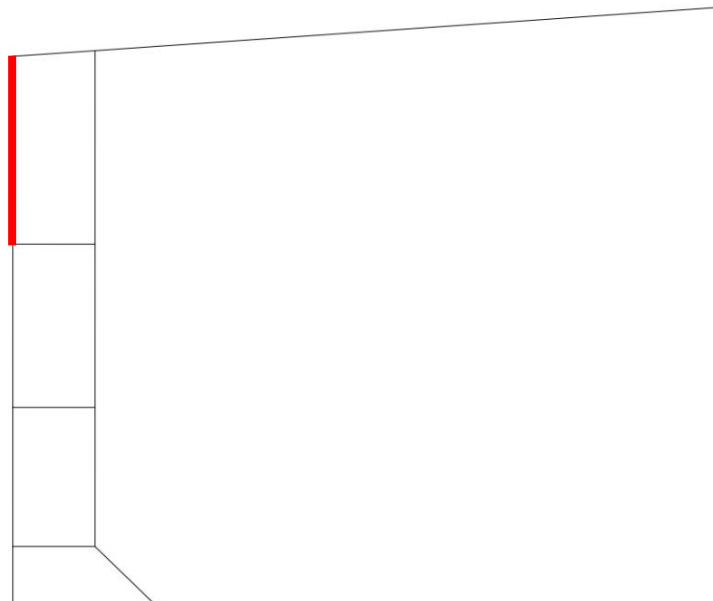
Distancia a los extremos	Elección de espaciado (m)
0,788	0,760

Espaciado	Número total (+1)	Resto
0,750	7,167	0,063
0,76	7,072	0,027
0,770	6,981	0,378
0,78	6,891	0,348
0,790	6,804	0,318
0,8	6,719	0,288
0,810	6,636	0,258
0,82	6,555	0,228
0,830	6,476	0,198
0,84	6,399	0,168
0,850	6,324	0,138
0,900	5,972	0,438

Este tramo va de  $z=10,25\text{m}$  hasta la distancia restante hacia el puntal dividida entre 2, que en el caso del ejemplo es  $15,625\text{m}$ . La selección de espaciados para este tramo está incluida en el código del botón “Actualizar cambios en refuerzos”. Se trata de la parte del For  $i=87$  to 98 hasta el siguiente next  $i$ , correspondiendo esas  $i$  a los espaciados desde 0,75 a 0,9.

El contenido del For funciona exactamente igual al explicado para el fondo con un solo cambio en el último If, este cambio se trata del rango de valores que es entre 0 y 0,06 (en vez de 0,05) porque a base de prueba y error el resto mínimo superaba 0,05 en algunos de los calados válidos, pero nunca 0,06.

#### Tramo final del costado





Tramo final costado			
Nº	y (m)	z (m)	Escantillón
1,000	21,500	16,413	120 x 6
2,000	21,500	17,173	120 x 6
3,000	21,500	17,933	120 x 6
4,000	21,500	18,693	120 x 7
5,000	21,500	19,453	120 x 7
6,000	21,500	20,213	120 x 8
7,000	21,500	NO	120 x 8
8,000	21,500	NO	120 x 8
9,000	21,500	NO	120 x 8

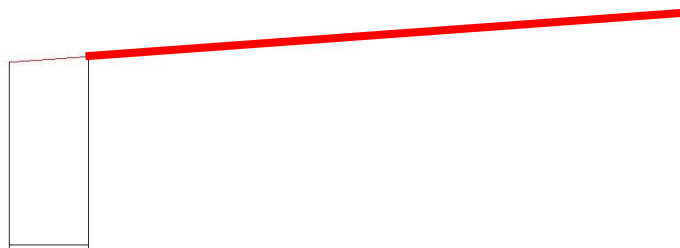
Este tramo va desde donde termine el anterior, siendo en este ejemplo 15,625m hasta el final del costado con una altura en el ejemplo de 21m.

Este tramo se ha realizado igual al anterior ya que su longitud es la misma, es decir que el espaciado de los refuerzos entre sí y la distancia a los extremos está compartida con la del anterior tramo.

En todos los tramos del costado, el código de la primera celda z(m) es el final del tramo anterior más la distancia a los extremos, y el resto de las celdas es: “si el número de refuerzo en el que se encuentra es menor que el número total menos 1, entonces suma la z(m) anterior con la elección de espaciado y si no entonces escribe “NO” “.

En este caso se ve tal que así =SI(Bxx<I\$83-1;Dxx-1+L\$85;"NO"). Siendo Bxx el N°xx, I\$83 el número total +1, Dxx-1 es z(m) de la celda anterior y L\$85 la elección de espaciado.

### Cubierta



Cubierta (hasta costado interior)				Posición sobre cubierta(m)
Nº	y(m)	z (m)	Escantillón	
1,000	0,821	22,035	120 x 7	0,823
2,000	1,631	21,996	120 x 8	1,613
3,000	2,440	21,957	120 x 8	2,403
4,000	3,250	21,918	120 x 8	3,193
5,000	4,059	21,880	120 x 8	3,983
6,000	4,869	21,841	120 x 7	4,773
7,000	5,678	21,802	120 x 8	5,563
8,000	6,488	21,764	120 x 8	6,353
9,000	7,297	21,725	140 x 7	7,143
10,000	8,107	21,686	140 x 7	7,933
11,000	8,916	21,647	140 x 7	8,723
12,000	9,726	21,609	140 x 7	9,513
13,000	10,535	21,570	140 x 7	10,303
14,000	11,345	21,531	140 x 7	11,093
15,000	12,154	21,492	140 x 7	11,883
16,000	12,964	21,454	140 x 7	12,673
17,000	13,774	21,415	120 x 8	13,463
18,000	14,583	21,376	120 x 8	14,253
19,000	15,393	21,338	120 x 8	15,043
20,000	NO	21,299	120 x 8	15,833
21,000	NO	21,260	140 x 7	16,623
22,000	NO	21,221	140 x 7	17,413
23,000	NO	21,183	140 x 7	18,203
24,000	NO	#¡VALOR!	140 x 7	NO
25,000	NO	#¡VALOR!	140 x 7	NO
26,000	NO	#¡VALOR!	140 x 7	NO

Número total (+1)	Longitud total	Seleccionar Espaciado
24,085	19,027	Automático

Distancia a los extremos	Elección de espaciado (m)
0,823	0,790

Espaciado	Número total (+1)	Resto
0,750	25,369	0,138
0,760	25,035	0,013
0,770	24,710	0,273
0,780	24,393	0,153
0,790	24,085	0,033
0,800	23,784	0,313
0,810	23,490	0,198
0,820	23,203	0,083
0,830	22,924	0,383
0,840	22,651	0,273
0,850	22,385	0,163
0,900	21,141	0,063

La cubierta es un tramo especial porque es un tramo inclinado, los refuerzos y sus espaciados han sido calculados sobre la longitud total y luego se ha aplicado la pendiente para calcular las coordenadas y(m) y z(m) para cada refuerzo.

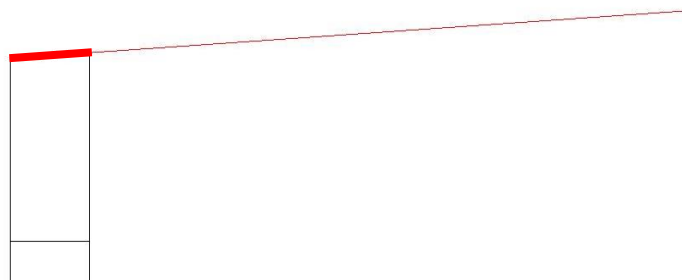
Entonces, sabiendo esto, en las celdas de posición sobre cubierta tenemos lo que en otros tramos está directamente sobre y(m) o z(m) dependiendo si en ese tramo los refuerzos van en el plano vertical o horizontal, siendo =I117 para el refuerzo N°1, I117 es la distancia a los extremos y =SI(Bxx<I115-1;Hxx-1+L117;"NO"), donde Bxx es el número del refuerzo en el que estamos trabajando y Hxx-1 es la posición del refuerzo anterior.

Las coordenadas y(m) =  $H_{xx} / (1 + E4)$ , Hxx es la posición del N°xx de refuerzo y E4 es la pendiente de la cubierta, esto significa que a cada posición le aplica la pendiente para calcular su coordenada y(m) en el plano.

Para z(m) =  $E5 - C_{xx} * E4$ , siendo Cxx la coordenada y(m), esto es simplemente aplicar la pendiente también para calcular z(m).

Dentro del código estamos en el For i=122 To 133, en este no hay ningún cambio, es exactamente igual que el explicado para el tramo del costado, solo cambia la longitud total del tramo y se trabaja con la tabla de espaciados y restos que se encuentra al principio de esta página.

#### Tramo de cubierta sobre el doble casco

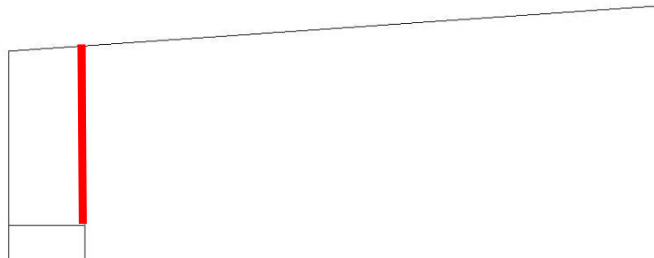


Este tramo de la cubierta, al ser invariable es un tramo fijo, también es un tramo inclinado así que las coordenadas z(m) y y(m) están calculadas igual al resto de la cubierta.

Cubierta (últimos 2,5m)				Posición sobre longitud
Nº	y(m)	z (m)	Escantillón	
1,000	19,487	21,101	140 x 7	
2,000	20,320	21,059	140 x 7	19,877
				20,727

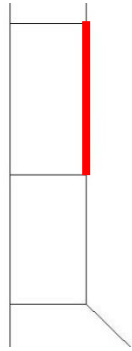
Distancia a los extremos (m)	Número total (+1)	Longitud total	Espaciado
0,850	3,000	2,550	0,850

### Costado interior

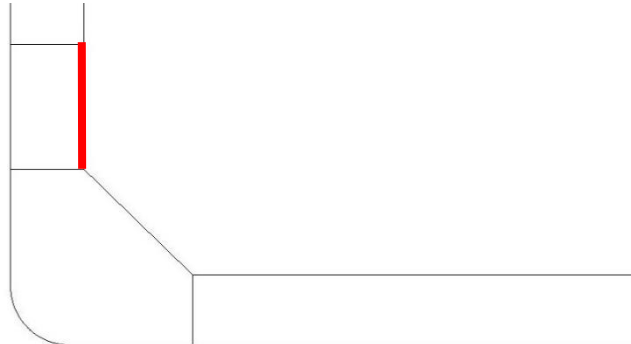


En el costado interior todos los refuerzos se corresponden en la misma vertical con los del costado, así que no hay ningún cálculo a realizar. El escantillón de los refuerzos se puede seleccionar distinto en cada uno de los refuerzos como en todo el resto de la hoja.

Costado interior (tramo superior)			
Nº	y (m)	z (m)	Escantillón
1,000	19,000	16,413	140 x 7
2,000	19,000	17,173	140 x 7
3,000	19,000	17,933	140 x 7
4,000	19,000	18,693	140 x 7
5,000	19,000	19,453	140 x 7
6,000	19,000	20,213	140 x 7
7,000	19,000	NO	140 x 7
8,000	19,000	NO	140 x 7
9,000	19,000	NO	140 x 7

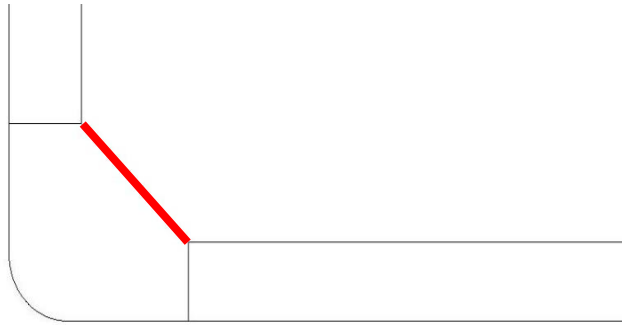


Costado interior (2ndo tramo desde arriba)			
Nº	y (m)	z (m)	Escantillón
1,000	19,000	11,038	140 x 7
2,000	19,000	11,798	140 x 7
3,000	19,000	12,558	140 x 7
4,000	19,000	13,318	140 x 7
5,000	19,000	14,078	140 x 7
6,000	19,000	14,838	140 x 7
7,000	19,000	NO	140 x 7
8,000	19,000	NO	140 x 7
9,000	19,000	NO	140 x 7



Costado interior para $6 < z < 10,125$ (tramo fijo)			
Nº	y (m)	z (m)	Escantillón
1,000	19,000	6,850	140 x 7
2,000	19,000	7,700	140 x 7
3,000	19,000	8,550	140 x 7
4,000	19,000	9,400	166 x 7

## Refuerzos tramo inclinado tanque



Distancia a los extremos (m)	Número total (+1)	Longitud total	Espaciado
0,861	6,003	5,162	0,860

Refuerzos tramo inclinado tanque bajo				Posición sobre longitud
Nº	y (m)	z (m)	Escantillón	
1,000	16,225	3,300	140 x 7	1,291
2,000	16,841	3,900	140 x 7	2,151
3,000	17,458	4,499	140 x 7	3,011
4,000	18,074	5,099	140 x 7	3,871
5,000	18,691	5,699	140 x 7	4,731

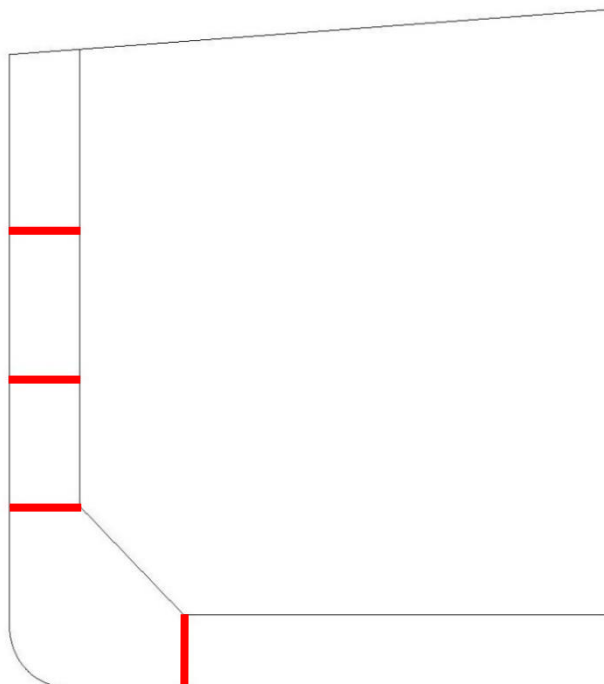
Al ser un tramo inclinado se ha realizado al igual que la cubierta, el espaciado está distribuido sobre la longitud inclinada y luego se han calculado las coordenadas y(m) y z(m), se trata de un tramo fijo así que el espaciado está calculado para ser óptimo.

Las coordenadas de z(m) y y(m) están calculadas a base de sumar la distancia donde empieza el tramo que es variable según la manga y el puntal y sumarle la semejanza de triángulos hasta dicho punto.

$z(m) = 2,4 + H_{xx} \cdot (3,6 / 183)$ , siendo  $H_{xx}$  la posición del refuerzo sobre la longitud, 3,6m el lado vertical del triángulo, 183 la longitud total y 2,4m la altura del doble fondo.

$y(m) = 10 + H_{xx} \cdot (3,7 / 183)$ , donde 10 es la longitud del tramo de doble fondo/fondo y 3,7 la altura vertical del triángulo que se forma con la plancha inclinada.

## Refuerzos del palmejar de costado y vagra

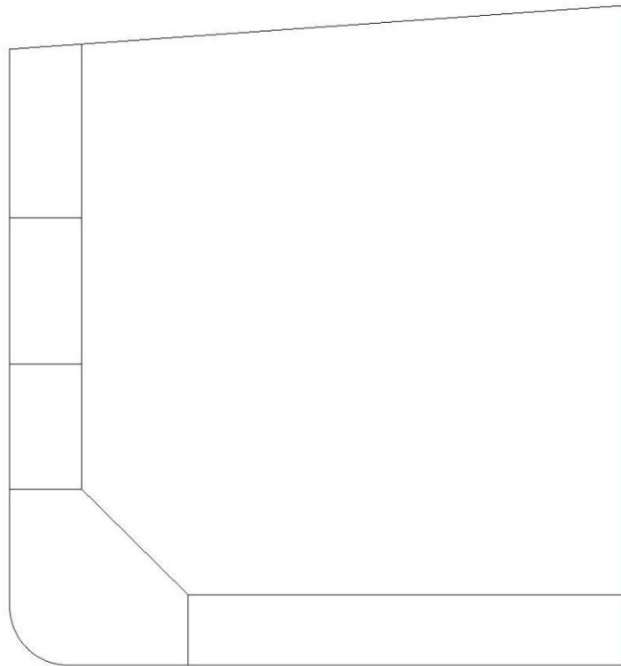


Posición	Distancia a los extremos (m)	Número total (+1)	Longitud total	Espaciado
Palmejar	0,840	3,049	2,500	0,820
Vagra	0,800	3,000	2,400	0,800

Refuerzos palmejar de costado y vagra			
Nº	y (m)	z (m)	Escantillón
1,000	20,660	6,000	140 x 7
2,000	19,840	6,000	140 x 7
1,000	20,660	10,250	140 x 7
2,000	19,840	10,250	120 x 8
1,000	20,660	15,625	140 x 7
2,000	19,840	15,625	140 x 7
1,000	15,300	0,800	140 x 7
2,000	15,300	1,600	140 x 7

Estos refuerzos son fijos en posición, pudiendo cambiarse su escantillón. Los espaciados son distintos entre los refuerzos del palmejar y los de la vagra ya que su longitud total es distinta y han sido calculados para tener el espaciado óptimo en cada caso.

## Refuerzos mamparo crujía



El mamparo de crujía ha sido dividido en la parte variable y la fija, siendo esta la variable. Su longitud es el puntal en crujía que es 22,075m en el ejemplo -2,4m que es la altura de doble fondo. A partir de ahí ha sido calculado como el resto de los tramos variables, mediante el código del botón.

Dentro del código estamos en el For i=209 To 219, en este no hay ningún cambio, es exactamente igual que el explicado para el tramo del costado, solo cambia la longitud total del tramo y se trabaja con la tabla de espaciados y restos que se encuentra al principio de esta página.

El código de z(m) es el siguiente: =I207+2,4 para el nº1 y =SI.CONJUNTO(Bxx<=I\$204-1;Dxx-1+\$L\$12;B206>I\$204-1;"NO") para el resto siendo I207 la distancia a los extremos, Bxx el número del refuerzo en el que estamos I\$204 el número total de refuerzos, Dxx-1 la z(m) del refuerzo anterior y \$L\$12 la elección del espaciado.



Refuerzos mamparo crujía			
Nº	y (m)	z (m)	Escantillón
1,000	0	3,338	160 x 8
2,000	0	4,188	120 x 6
3,000	0	5,038	140 x 8
4,000	0	5,888	120 x 8
5,000	0	6,738	120 x 8
6,000	0	7,588	120 x 8
7,000	0	8,438	120 x 7
8,000	0	9,288	120 x 6
9,000	0	10,138	120 x 8
10,000	0	10,988	120 x 6
11,000	0	11,838	140 x 10
12,000	0	12,688	120 x 6
13,000	0	13,538	100 x 7
14,000	0	14,388	100 x 7
15,000	0	15,238	100 x 8
16,000	0	16,088	100 x 7
17,000	0	16,938	100 x 7
18,000	0	17,788	100 x 7
19,000	0	18,638	160 x 9
20,000	0	19,488	100 x 7
21,000	0	20,338	100 x 7
22,000	0	NO	100 x 7

Número total (+1)	Longitud total	Seleccionar Espaciado
22,107	19,675	Automático

Distancia a los extremos	Elección de espaciado (m)
0,937	0,890

A continuación, podemos ver la tabla de espaciados, número de refuerzos y restos para este tramo. Como se puede ver en la tabla el código ha escogido el resto menor existente.

Espaciado	Número total (+1)	Resto
0,800	24,594	0,237
0,810	24,290	0,118
0,820	23,994	0,408
0,830	23,705	0,293
0,840	23,423	0,178
0,850	23,147	0,063
0,860	22,878	0,378
0,870	22,615	0,268
0,880	22,358	0,158
0,890	22,107	0,047
0,900	21,861	0,387

#### Tramo final mamparo crujía



Refuerzos mamparo crujía tramo final			
Nº	y (m)	z (m)	Tipo
1,000	0,000	0,800	160 x 8
2,000	0,000	1,600	120 x 6

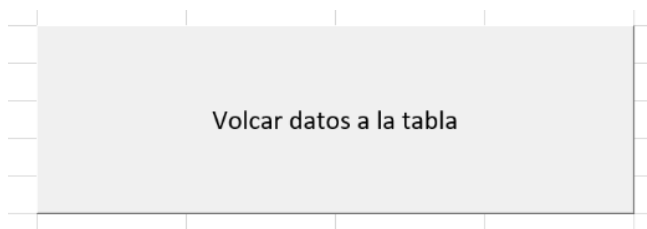
Este se trata del último tramo de refuerzos, siendo un tramo fijo y teniendo un espaciado de refuerzos igual a la distancia a los extremos.

#### 4.4 CÁLCULOS DEL MÓDULO DE LA SECCIÓN, LA INERCIA Y EL EJE NEUTRO.

Cálculo del módulo de una sección							
Elemento	Escantillones m x mm		Área a(cm <sup>2</sup> )	Altura h(m)	Momento de 1º orden ah	Momento de 2º orden ah <sup>2</sup>	Momento de inercia propio i(cm <sup>2</sup> m <sup>2</sup> )
Planchas de fondo	2,000	19,000	380,000	0,000	0,000	0,000	0,011
resto del fondo hasta pantoque	2,000	19,000	380,000	0,000	0,000	0,000	0,011
Plancha Pantoque	3,200	20,000	640,000	0,727	465,127	338,036	242,471
Planchas de costado	2,800	16,000	448,000	3,460	1550,080	5363,277	292,693
Planchas de cubierta	3,200	18,000	576,000	21,999	12671,314	278753,829	0,016
Planchas doble fondo	2,000	17,000	340,000	2,400	816,000	1958,400	0,008
Planchas tanque tolva	3,000	18,000	540,000	3,446	1860,858	6412,575	196,953
Planchas costado interior	2,800	18,000	504,000	7,400	3729,600	27599,040	329,280
Planchas mamparo crujía	3,200	17,000	544,000	1,600	870,400	1392,640	464,213
Refuerzos palmejar de costado y vagra	2,400	16,000	384,000	1,200	460,800	552,960	184,320
Refuerzos Fondo	160 x 8		16,200	0,095	1,539	0,146	0,041
Refuerzos Fondo hasta pantoque	140 x 7		12,430	0,083	1,034	0,086	0,024
Refuerzos final pantoque - costado	160 x 8		16,200	2,295	37,179	85,326	0,041
Refuerzos Doble Fondo	120 x 8		11,720	2,470	28,944	71,479	0,017
Refuerzos Costado 6<z<10,25	120 x 6		9,320	6,850	63,842	437,318	0,013
Refuerzos Costado 10,25>z>1r 1/2	100 x 8		9,740	11,288	109,940	1240,951	0,009

Refuerzos tramo final costado	120 x 6	9,320	16,663	155,295	2587,595	0,013
Refuerzos Cubierta hasta costado interior	120 x 7	10,520	21,958	230,998	5072,247	0,015
Refuerzos Cubierta últimos 2,5m	140 x 7	12,430	21,017	261,247	5490,741	0,024
Refuerzos Costado interior tramo superior	140 x 7	12,430	16,663	207,115	3451,052	0,024
Refuerzos Costado interior 2ndo tramo	140 x 7	12,430	11,288	140,304	1583,677	0,024
Refuerzos Costado interior para $6 < z < 10,125$	140 x 7	12,430	6,850	85,146	583,247	0,024
Refuerzos tanque bajo	140 x 7	12,430	3,217	39,985	128,623	0,024
Refuerzos de palmejar de costado	140 x 7	12,430	5,917	73,546	435,156	0,024
Refuerzos mamparo crujía	160 x 8	16,2	0,91	14,742	13,415	0,0411
Refuerzos mamparo crujía tramo final	160 x 8	16,200	0,800	12,960	10,368	0,041
Totales (Para mitad de la sección)	-	22665,869	-	209134,807	3464654,836	7048,791

Esta tabla se trata de una tabla con 239 filas en total donde se han volcado todos los datos de las planchas y los refuerzos para poder proceder con los cálculos necesarios para obtener el módulo, la inercia y el eje neutro de la sección maestra del buque. Esta tabla en el Excel es desplegable, pudiendo clicar en el lateral izquierdo de la misma y abrir la sección de planchas o refuerzos deseada pudiendo ver cada uno de estos. Una vez que se llega a esta página, lo único que hay que hacer es pulsar el botón llamado “Volcar datos a la tabla” y entonces automáticamente la tabla se actualizará y se actualizarán los resultados también.



Siendo la tabla de resultados la siguiente:

Resultados	
$h_{EN}$ m	9,317
$0,5 I_{zz}$ cm <sup>2</sup> m <sup>2</sup>	3521305,018
Teorema ejes paralelos	
$0,5 I$ cm <sup>2</sup> m <sup>2</sup>	1547358,793
Valores totales	
$A$ cm <sup>2</sup>	45480,117
$I$ cm <sup>2</sup> m <sup>2</sup>	3094717,585
$Z_c$ cm <sup>2</sup> m	91877,483
$Z_Q$ cm <sup>2</sup> m	332161,393

La explicación del cálculo del módulo de la sección y sus fórmulas están expuestas en el punto 1 del trabajo. Resumiendo:

$$I = I_{zz} - Ah_{EN}^2$$

$$I_{zz} = \sum (Inercias\ propias + Momentos\ estáticos\ de\ segundo\ orden)$$

$$Z_c = \frac{I}{H_D - H_{EN}}$$

$$Z_Q = \frac{I}{H_{EN}}$$

Siendo I = Inercia y Z= módulo.

### Explicación detallada de la tabla “Cálculo del módulo de una sección”

#### Planchas:

Se va a explicar columna a columna. Los escantillones y la altura son simplemente una llamada a la información de la hoja Excel donde se sitúan las planchas. El área para todas las planchas el contenido es igual siendo  
`=SI(ESNUMERO(Dx*Ex*10);(Dx*Ex*10);0)`

Siendo Dx la primera columna de escantillón y Ex la segunda, se emplean las funciones ESNUMERO y SI para evitar resultados como #VALOR o ##### y poder sumar los totales en caso de que una de las planchas en las hojas anteriores tenga escrito “NO” por ser inexistente, este formato se repite para las columnas de momento de 1º y 2º orden y la columna del momento de inercia propio por el mismo motivo.

Momento de 1º orden ah: =SI(ESNUMERO(Fx\*Gx);Fx\*Gx;0), multiplica la columna de área por la de altura.

Momento de 2º orden ah<sup>2</sup>= =SI(ESNUMERO(Hx\*Gx);(Hx\*Gx);0), multiplica la columna de altura por la de momento de primer orden.

Estás dos columnas de momentos son exactamente iguales para los refuerzos también.

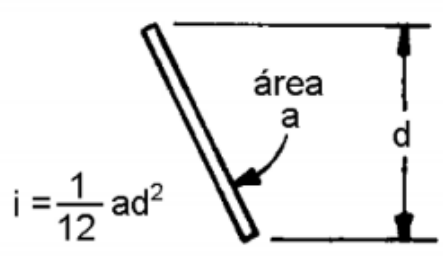
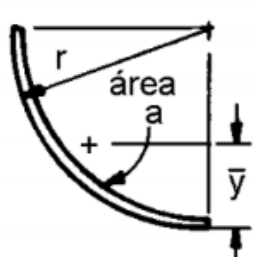
La columna Momento de inercia propio i (cm<sup>2</sup>m<sup>2</sup>) depende de si la plancha es vertical o horizontal. La fórmula empleada para esto es:

$$I = \frac{1}{12}bt^3 \quad \text{para planchas horizontales}$$

$$I = \frac{1}{12}tb^3 \quad \text{para planchas verticales}$$

Siendo b la anchura de la plancha y t el espesor, normalmente la inercia propia de las planchas horizontales se desestima por ser mínimo en comparación al de las verticales.

También tenemos planchas inclinadas y la del pantoque que es curva. Para estas se ha empleado lo siguiente

<p>plancha inclinada:</p>  $i = \frac{1}{12}ad^2$	<p>pantoque:</p>  $i = \left( \frac{1}{2} - \frac{4}{\pi^2} \right) ar^2$ $\bar{y} = \frac{(\pi - 2)r}{\pi}$
--	--

### Refuerzos:

Si clican en las celdas correspondientes a los refuerzos se verán que en todas menos las dos columnas de momentos de primer y segundo orden, que son iguales a las de las planchas, solo hay datos. Esto se debe a que el código del botón se encarga de coger toda la información de los refuerzos, compararla y escribirla en estas celdas.

A continuación, se va a mostrar el código del botón “Volcar datos a la tabla” y se va a explicar el mismo.

Microsoft Visual Basic para Aplicaciones - [Módulo2 (Código)]

Archivo Edición Ver Insertar Formato Depuración Ejecutar Herramientas Complementos Ventana Ayuda

Proyecto - VBAProject

VBAProject (TFG Daniel Baños Fuentes.xls)

- Microsoft Excel Objetos
  - Hoja1 (Introducción datos)
  - Hoja2 (Planchas)
  - Hoja3 (Refuerzos)
  - Hoja4 (Base de datos tipos de refuerzo)
  - Hoja5 (Modulo, inercia y eje neutro)
  - ThisWorkbook
- Módulos
  - Módulo1
  - Módulo2

Propiedades - Módulo2

Módulo2 Módulo

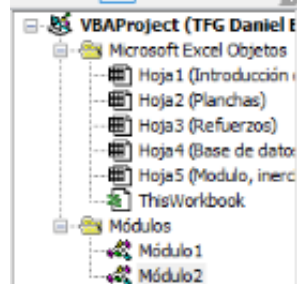
Alfabética Por categorías

(Name) Módulo2

(General)

comparar

```
Sub comparar()  
  
Dim pag As Variant, i As Integer, j As Integer  
Dim pag2 As Variant  
Dim pag3 As Variant  
  
Set pag = Hoja3.Range("A1:X300")  
Set pag2 = Hoja4.Range("A1:K60")  
Set pag3 = Hoja5.Range("A1:I30")  
  
For i = 12 To 32  
  
    For j = 12 To 65  
  
        If StrComp(pag.Range("E" & i), pag2.Range("A" & j), vbTextCompare) = 0 Then  
  
            pag3.Range("D" & i + 62).Value = pag2.Range("A" & j).Value  
            pag3.Range("F" & i + 62).Value = pag2.Range("F" & j).Value  
            pag3.Range("G" & i + 62).Value = pag.Range("D" & i).Value + pag2.Range("I" & j).Value  
            pag3.Range("J" & i + 62).Value = pag2.Range("J" & j).Value  
  
            ElseIf pag.Range("C" & i).Value = "NO" Then  
  
                pag3.Range("F" & i + 62).Value = 0  
                pag3.Range("J" & i + 62).Value = 0  
  
            End If  
  
        Next j  
  
    Next i  
  
    For i = 35 To 39  
  
        For j = 12 To 65  
  
            If StrComp(pag.Range("E" & i), pag2.Range("A" & j), vbTextCompare) = 0 Then  
  
                pag3.Range("D" & i + 60).Value = pag2.Range("A" & j).Value  
                pag3.Range("F" & i + 60).Value = pag2.Range("F" & j).Value  
                pag3.Range("G" & i + 60).Value = pag.Range("D" & i).Value + pag2.Range("I" & j).Value  
                pag3.Range("J" & i + 60).Value = pag2.Range("J" & j).Value  
  
                ElseIf pag.Range("C" & i).Value = "NO" Then  
  
                    pag3.Range("F" & i + 60).Value = 0  
                    pag3.Range("J" & i + 60).Value = 0  
  
                End If  
  
            Next j  
  
        Next i  
  
    Next j  
  
End Sub
```



```

Next i
    For i = 43 To 47

        For j = 12 To 65

            If StrComp(pag.Range("E" & i), pag2.Range("A" & j), vbTextCompare) = 0 Then

                pag3.Range("D" & i + 57).Value = pag2.Range("A" & j).Value
                pag3.Range("F" & i + 57).Value = pag2.Range("F" & j).Value
                pag3.Range("G" & i + 57).Value = pag.Range("D" & i).Value
                pag3.Range("J" & i + 57).Value = pag2.Range("J" & j).Value

                ElseIf pag.Range("C" & i).Value = "NO" Then

                    pag3.Range("F" & i + 57).Value = 0
                    pag3.Range("J" & i + 57).Value = 0

            End If

        Next j

    Next i

    For i = 54 To 73

        For j = 12 To 65

            If StrComp(pag.Range("E" & i), pag2.Range("A" & j), vbTextCompare) = 0 Then

                pag3.Range("D" & i + 51).Value = pag2.Range("A" & j).Value
                pag3.Range("F" & i + 51).Value = pag2.Range("F" & j).Value
                pag3.Range("G" & i + 51).Value = pag.Range("D" & i).Value - pag2.Range("I" & j).Value
                pag3.Range("J" & i + 51).Value = pag2.Range("J" & j).Value

                ElseIf pag.Range("C" & i).Value = "NO" Then

                    pag3.Range("F" & i + 51).Value = 0
                    pag3.Range("J" & i + 51).Value = 0

            End If

        Next j

    Next i

```



Microsoft Visual Basic para Aplicaciones - [Módulo2 (Código)]

Archivo Edición Ver Insertar Formato Depuración Ejecutar Herramientas Complementos Ventana Ayuda

Proyecto - VBAProject

VBAProject (TFG Daniel E)

Microsoft Excel Objetos

Hoja1 (Introducción)

Hoja2 (Planchas)

Hoja3 (Refuerzos)

Hoja4 (Base de datos)

Hoja5 (Modulo, interc)

ThisWorkbook

Módulos

Módulo1

Módulo2

Propiedades - Módulo2

Módulo2 Módulo

Alfabética Por categorías

(Name) Módulo2

(General) comparar

```
For i = 77 To 80
    For j = 12 To 65
        If StrComp(pag.Range("E" & i), pag2.Range("A" & j), vbTextCompare) = 0 Then
            pag3.Range("D" & i + 48).Value = pag2.Range("A" & j).Value
            pag3.Range("F" & i + 48).Value = pag2.Range("F" & j).Value
            pag3.Range("G" & i + 48).Value = pag.Range("D" & i).Value
            pag3.Range("J" & i + 48).Value = pag2.Range("J" & j).Value
        ElseIf pag.Range("C" & i).Value = "NO" Then
            pag3.Range("F" & i + 48).Value = 0
            pag3.Range("J" & i + 48).Value = 0
        End If
    Next j
Next i

For i = 84 To 92
    For j = 12 To 65
        If StrComp(pag.Range("E" & i), pag2.Range("A" & j), vbTextCompare) = 0 Then
            pag3.Range("D" & i + 45).Value = pag2.Range("A" & j).Value
            pag3.Range("F" & i + 45).Value = pag2.Range("F" & j).Value
            pag3.Range("G" & i + 45).Value = pag.Range("D" & i).Value
            pag3.Range("J" & i + 45).Value = pag2.Range("J" & j).Value
        ElseIf pag.Range("C" & i).Value = "NO" Then
            pag3.Range("F" & i + 45).Value = 0
            pag3.Range("J" & i + 45).Value = 0
        End If
    Next j
Next i
```

Archivo Edición Ver Insertar Formato Depuración Ejecutar Herramientas Complementos Ventana Ayuda

Proyecto - VBAProject

VBAProject (TFG Daniel E)

- Microsoft Excel Objetos
  - Hoja1 (Introducción)
  - Hoja2 (Planchas)
  - Hoja3 (Refuerzos)
  - Hoja4 (Base de datos)
  - Hoja5 (Modulo, inerc)
  - ThisWorkbook
- Módulos
  - Módulo1
  - Módulo2

Propiedades - Módulo2

Módulo2 Módulo

Alfabética Por categorías

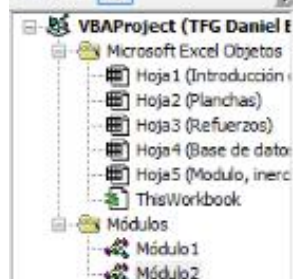
(Name) Módulo2

(General)

comparar

```
For i = 104 To 112
    For j = 12 To 65
        If StrComp(pag.Range("E" & i), pag2.Range("A" & j), vbTextCompare) = 0 Then
            pag3.Range("D" & i + 34).Value = pag2.Range("A" & j).Value
            pag3.Range("F" & i + 34).Value = pag2.Range("F" & j).Value
            pag3.Range("G" & i + 34).Value = pag.Range("D" & i).Value
            pag3.Range("J" & i + 34).Value = pag2.Range("J" & j).Value
        ElseIf pag.Range("C" & i).Value = "NO" Then
            pag3.Range("F" & i + 34).Value = 0
            pag3.Range("J" & i + 34).Value = 0
        End If
    Next j
Next i

For i = 116 To 143
    For j = 12 To 65
        If pag.Range("C" & i).Value = "NO" Then
            pag3.Range("F" & i + 31).Value = 0
            pag3.Range("J" & i + 31).Value = 0
        ElseIf StrComp(pag.Range("E" & i), pag2.Range("A" & j), vbTextCompare) = 0 Then
            pag3.Range("D" & i + 31).Value = pag2.Range("A" & j).Value
            pag3.Range("F" & i + 31).Value = pag2.Range("F" & j).Value
            pag3.Range("G" & i + 31).Value = pag.Range("D" & i).Value - pag2.Range("I" & j).Value
            pag3.Range("J" & i + 31).Value = pag2.Range("J" & j).Value
        End If
    Next j
Next i
```



```
For i = 147 To 148

    For j = 12 To 65

        If pag.Range("C" & i).Value = "NO" Then

            pag3.Range("F" & i + 28).Value = 0
            pag3.Range("J" & i + 28).Value = 0

            ElseIf StrComp(pag.Range("E" & i), pag2.Range("A" & j), vbTextCompare) = 0 Then

                pag3.Range("D" & i + 28).Value = pag2.Range("A" & j).Value
                pag3.Range("F" & i + 28).Value = pag2.Range("F" & j).Value
                pag3.Range("G" & i + 28).Value = pag.Range("D" & i).Value - pag2.Range("I" & j).Value
                pag3.Range("J" & i + 28).Value = pag2.Range("J" & j).Value

        End If

    Next j

Next i

For i = 153 To 161

    For j = 12 To 65

        If StrComp(pag.Range("E" & i), pag2.Range("A" & j), vbTextCompare) = 0 Then

            pag3.Range("D" & i + 24).Value = pag2.Range("A" & j).Value
            pag3.Range("F" & i + 24).Value = pag2.Range("F" & j).Value
            pag3.Range("G" & i + 24).Value = pag.Range("D" & i).Value
            pag3.Range("J" & i + 24).Value = pag2.Range("J" & j).Value

            ElseIf pag.Range("C" & i).Value = "NO" Then

                pag3.Range("F" & i + 24).Value = 0
                pag3.Range("J" & i + 24).Value = 0

        End If

    Next j

Next i
```

Microsoft Visual Basic para Aplicaciones - [Módulo2 (Código)]

Archivo Edición Ver Insertar Formato Depuración Ejecutar Herramientas Complementos Ventana Ayuda

Proyecto - VBAProject

VBAProject (TFG Daniel t  
Microsoft Excel Objetos  
Hoja1 (Introducción)  
Hoja2 (Planchas)  
Hoja3 (Refuerzos)  
Hoja4 (Base de datos)  
Hoja5 (Modulo, interc)  
ThisWorkbook  
Módulos  
Módulo1  
Módulo2

Propiedades - Módulo2

Módulo2 Módulo

Alfabética Por categorías

(Name) Módulo2

(General)

comparar

```
For i = 165 To 173

For j = 12 To 65

If StrComp(pag.Range("E" & i), pag2.Range("A" & j), vbTextCompare) = 0 Then

pag3.Range("D" & i + 21).Value = pag2.Range("A" & j).Value
pag3.Range("F" & i + 21).Value = pag2.Range("F" & j).Value
pag3.Range("G" & i + 21).Value = pag.Range("D" & i).Value
pag3.Range("J" & i + 21).Value = pag2.Range("J" & j).Value

ElseIf pag.Range("C" & i).Value = "NO" Then

pag3.Range("F" & i + 21).Value = 0
pag3.Range("J" & i + 21).Value = 0

End If

Next j

Next i

For i = 177 To 180

For j = 12 To 65

If StrComp(pag.Range("E" & i), pag2.Range("A" & j), vbTextCompare) = 0 Then

pag3.Range("D" & i + 18).Value = pag2.Range("A" & j).Value
pag3.Range("F" & i + 18).Value = pag2.Range("F" & j).Value
pag3.Range("G" & i + 18).Value = pag.Range("D" & i).Value
pag3.Range("J" & i + 18).Value = pag2.Range("J" & j).Value

ElseIf pag.Range("C" & i).Value = "NO" Then

pag3.Range("F" & i + 18).Value = 0
pag3.Range("J" & i + 18).Value = 0

End If

Next j

Next i
```

Microsoft Visual Basic para Aplicaciones - [Módulo2 (Código)]

Archivo Edición Ver Insertar Formato Depuración Ejecutar Herramientas Complementos Ventana Ayuda

Proyecto - VBAProject

(General)

comparar

VBAProject (TFG Daniel E)

Microsoft Excel Objetos  
Hoja1 (Introducción)  
Hoja2 (Planchas)  
Hoja3 (Refuerzos)  
Hoja4 (Base de datos)  
Hoja5 (Modulo, inerc)  
ThisWorkbook  
Módulos  
Módulo1  
Módulo2

Propiedades - Módulo2

Módulo2 Módulo

Alfabética Por categorías

(Name) Módulo2

```
For i = 184 To 188

    For j = 12 To 65

        If StrComp(pag.Range("E" & i), pag2.Range("A" & j), vbTextCompare) = 0 Then

            pag3.Range("D" & i + 15).Value = pag2.Range("A" & j).Value
            pag3.Range("F" & i + 15).Value = pag2.Range("F" & j).Value
            pag3.Range("G" & i + 15).Value = pag.Range("D" & i).Value - pag2.Range("I" & j).Value
            pag3.Range("J" & i + 15).Value = pag2.Range("J" & j).Value

            ElseIf pag.Range("C" & i).Value = "NO" Then

                pag3.Range("F" & i + 15).Value = 0
                pag3.Range("J" & i + 15).Value = 0

        End If

    Next j

Next i

For i = 192 To 199

    For j = 12 To 65

        If StrComp(pag.Range("E" & i), pag2.Range("A" & j), vbTextCompare) = 0 Then

            pag3.Range("D" & i + 12).Value = pag2.Range("A" & j).Value
            pag3.Range("F" & i + 12).Value = pag2.Range("F" & j).Value
            pag3.Range("G" & i + 12).Value = pag.Range("D" & i).Value - pag2.Range("I" & j).Value
            pag3.Range("J" & i + 12).Value = pag2.Range("J" & j).Value

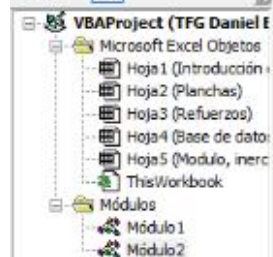
            ElseIf pag.Range("C" & i).Value = "NO" Then

                pag3.Range("F" & i + 12).Value = 0
                pag3.Range("J" & i + 12).Value = 0

        End If

    Next j

Next i
```



```
Next j

Next i

For i = 205 To 229

    For j = 12 To 65

        If StrComp(pag.Range("E" & i), pag2.Range("A" & j), vbTextCompare) = 0 Then

            pag3.Range("D" & i + 7).Value = pag2.Range("A" & j).Value
            pag3.Range("F" & i + 7).Value = pag2.Range("F" & j).Value
            pag3.Range("G" & i + 7).Value = pag2.Range("D" & i).Value
            pag3.Range("J" & i + 7).Value = pag2.Range("J" & j).Value

            ElseIf pag.Range("C" & i).Value = "NO" Then

                pag3.Range("F" & i + 7).Value = 0
                pag3.Range("J" & i + 7).Value = 0

        End If

    Next j

Next i

For i = 233 To 234

    For j = 12 To 65

        If StrComp(pag.Range("E" & i), pag2.Range("A" & j), vbTextCompare) = 0 Then

            pag3.Range("D" & i + 4).Value = pag2.Range("A" & j).Value
            pag3.Range("F" & i + 4).Value = pag2.Range("F" & j).Value
            pag3.Range("G" & i + 4).Value = pag2.Range("D" & i).Value
            pag3.Range("J" & i + 4).Value = pag2.Range("J" & j).Value

            ElseIf pag.Range("C" & i).Value = "NO" Then

                pag3.Range("F" & i + 4).Value = 0
                pag3.Range("J" & i + 4).Value = 0

        End If

    Next j

Next i

End Sub
```

En el principio tenemos:

```
““” Dim pag As Variant, i As Integer, j As Integer
```

```
Dim pag2 As Variant
```

```
Dim pag3 As Variant
```

```
Set pag = Hoja3.Range("A1:X300")
```

```
Set pag2 = Hoja4.Range("A1:K60")
```

```
Set pag3 = Hoja5.Range("A1:I30")”””””
```

Que pretende este Módulo: su función es recorrer todos los refuerzos de la Hoja 3 uno a uno y comprobar que su tipo corresponde con uno existente en la hoja de datos, si es así deberá volcar toda la información del tipo de refuerzo (área, inercia, etc) en su lugar correspondiente en la tabla, además como en la hoja de refuerzos hay tablas con huecos para refuerzos extra si no hay refuerzo pondrá “0” donde corresponda en la tabla.

Primero se definen las variables con Dim y después en set pag = ... se crean Matrices para cada una de las páginas en las que vamos a trabajar. Hoja3 son los refuerzos, Hoja4 la base de datos de los tipos de refuerzos y la Hoja5 donde estamos trabajando y se encuentra el botón la hoja de los cálculos del módulo.

Estructura del código: cada For trabaja con cada uno de los tramos de refuerzos, es decir For i=12 to 32 serán los refuerzos del fondo, For i= 35 to 39 el resto del fondo, For i= 43 to 47 el costado del pantoque, así en orden hasta el final.

For j= 12 to 65 es un For que se repite en todos los tramos y su función es recorrer la base de datos de los tipos de refuerzo.

Se va a analizar paso a paso el primer bloque de código y luego se señalarán sus diferencias con el resto de los bloques porque son muy similares.

```
“If StrComp(pag.Range("E" & i), pag2.Range("A" & j),  
vbTextCompare) = 0 Then”
```

Este if es lo siguiente si el tipo de refuerzos que nosotros hemos seleccionado en la Hoja3 existe en la base de datos, entonces:

```
“pag3.Range("D" & i + 62).Value = pag2.Range("A" & j).Value”
```

Escribe en la columna D de la Hoja cálculo del módulo el tipo de refuerzo correspondiente.

```
“pag3.Range("F" & i + 62).Value = pag2.Range("F" & j).Value”
```

Escribe en la columna F el valor del área de dicho tipo de refuerzo.

```
“pag3.Range("G" & i + 62).Value = pag.Range("D" & i).Value + pag2.Range("I"  
& j).Value”
```

Escribe en la columna G el valor de la altura del refuerzo para ese tipo de refuerzo, esta línea es la más importante de todas porque es la que varía entre casi todos los tramos de refuerzos porque es dependiente de la dirección en la que vaya el refuerzo.

Si el refuerzo va en dirección horizontal y no vertical esto no es relevante para el cálculo.

```
“pag3.Range("J" & i + 62).Value = pag2.Range("J" & j).Value”
```

Escribe en la columna J el valor del momento de inercia propio para ese tipo de refuerzo.

```
“ElseIf pag.Range("C" & i).Value = "NO" Then”
```

Si en la Hoja 3 refuerzos está indicado que en esa posición no hay un refuerzo, entonces:

```
“pag3.Range("F" & i + 62).Value = 0”
```

Escribe en la columna F de la hoja 5 “0”

```
“pag3.Range("J" & i + 62).Value = 0”
```

Escribe en la columna J de la hoja 5 “0”

```
“End If
```

```
Next j
```

```
Next i”
```

Acabar con el if, pasar a la siguiente j, una vez recorridas todas las j, pasar a la siguiente i.

Significado de ”X” & i , esto quiere decir que se posiciona en la columna X en la posición I, es decir empieza en C12

¿Por qué hay un +62? Esto se debe a que en la hoja 5 hasta la fila 73 están ocupadas con los valores de la plancha, entonces los refuerzos empiezan en la fila 74.

El resto del código es igual, cambiando de tramo de refuerzos, al cambiar el tramo cambia el número que se suma en el código porque hemos avanzado filas en la hoja de refuerzos, al haber espacio entre tabla y tabla y también están las líneas de encabezado de las tablas. A parte de esto solo cambia la 3ra línea del IF en cada uno de los tramos, ya explicado antes porque es dependiente de la dirección del refuerzo, voy a mostrar esta línea en sus distintas variables.

Ya hemos visto la variable del fondo donde el refuerzo es vertical y con dirección hacia la cubierta.

En el costado, donde esta altura no es influyente la línea se ve así:

```
“pag3.Range("G" & i + 57).Value = pag.Range("D" & i).Value” sin la suma.
```

Y en el doble fondo, que sería como la cubierta, donde los refuerzos apuntan hacia el fondo, esa línea se ve así, con la altura del centro de gravedad del refuerzo restando:

```
“pag3.Range("G" & i + 51).Value = pag.Range("D" & i).Value - pag2.Range("I" & j).Value”
```





# 5.- DESCRIPCIÓN DE LAS OPERACIONES DE CARGA Y DESCARGA DE CRUDO DE UN PETROLERO.

## 5.1- INTRODUCCIÓN

Muchos petroleros hoy en día cargan crudo desde plataformas petrolíferas en medio del mar. Para hacer esto se amarran (normalmente por la proa) a una boya, a una esclusa o a la torre. Los petroleros del mar del norte son diseñados específicamente para ser cargados por la proa estando amarrados por un solo punto en el mar.

El crudo puede ser cargado al petrolero desde una variedad de instalaciones offshore o una terminal convencional a través del colector central. Los petroleros modernos pueden ir equipados con los sistemas más avanzados de carga de crudo que combinan un sistema de carga por proa (B.L. “Bow Loading”) y el de la parte del buque del sistema de carga de torre sumergida (S.T.L. “Submerged Turret Loading”).

Las bases del sistema S.T.L. son las siguientes: una boya está amarrada al fondo del mar y a esta se amarra también el barco mediante un cono en el fondo del buque, ahí se conecta internamente la torre al amarre y el sistema de trasiego de crudo. La torre cuenta con un rodamiento interno para que el buque pueda rotar libremente manteniéndose conectado al trasiego.

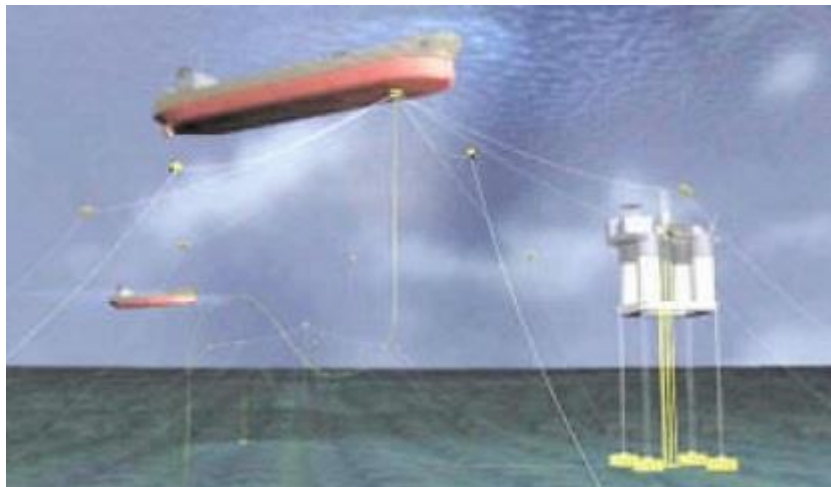


Imagen 1. Sistema S.T.L.

Este sistema permite que el buque sea fácilmente amarrado por la proa y el crudo se transfiera de forma convencional a través del colector central. Hoy en día el crudo líquido se transfiere normalmente usando brazos articulados de carga/descarga que se conectan al colector central del buque.

El proceso de carga y descarga de crudo en un buque es un proceso complejo y que requiere de la máxima diligencia a la hora de ser planeado y se han de realizar consideraciones con mucha delicadeza para que este proceso se realice sin ningún

peligro. A continuación, se va a hablar de los procesos a seguir durante las distintas etapas de carga y descarga del crudo.

## 5.2- PLAN DE OPERACIONES

Se elabora un plan de operaciones, de carga o descarga, según corresponda. El encargado de la elaboración del plan es el primer piloto, quien se lo presenta al capitán para su aprobación. El plan de operaciones se vuelve un documento oficial, al ser firmado por la terminal y la nave.

Se efectúa una reunión con el personal de guardia para que este tome conocimiento del plan que se seguirá durante las faenas y aclarar dudas que se presenten. Tendrán establecido por escrito, todas las tareas que deberán desarrollar. De este modo, el personal del buque conocerá los nombres y descripciones de los productos que se manipularán.

El personal que participa en este plan de operaciones está formado por:

- **Primer piloto**, se encarga de la supervisión total de las faenas, especialmente en los cambios de producto y remates de los tanques (top off), que son etapas delicadas de las operaciones. Vigilará el cumplimiento del plan de operaciones.
- **Piloto de guardia**, encargado de supervisar la conexión de la manguera o brazo de carga. Permanecerá luego, en la sala de control de carga, durante la operación, y no la abandonará sin el consentimiento del primer piloto.
- **Un bombero**, asistente del piloto de guardia.
- **Dos marinos**, disponibles en cubierta para diferentes labores y estarán a disposición del piloto de guardia.

El departamento de máquinas es el encargado de la operación del sistema de gas inerte. Además, por motivos de seguridad, el buque debe estar preparado para moverse por sus propios medios, durante la estancia en el amarradero. Lo que implica una guardia en la sala de máquinas.

Por parte de la terminal, habrá un inspector en servicio continuo, en las proximidades de las conexiones de buque/tierra.

Finalmente, el capitán, responsable de la seguridad de la nave, estará informado y atento, de cualquier cambio en plan de operaciones, como de problemas que se presenten en las faenas

## 5.3- OPERACIÓN DE CARGA

La consideración principal que restringe el máximo caudal de carga es prevenir un aumento excesivo de la presión en el sistema del buque. Esto está determinado por ciertos factores que incluyen: el diámetro mínimo de tubería, el material de las tuberías, la capacidad del sistema de ventilación, entre otros. Los sistemas de cierre en el sistema de carga, por los que salen los vapores de exhaustación ya sea mediante ventiladores de elevación o de alta velocidad siempre han de ser usados. El caudal de carga debe ser ajustado teniendo en cuenta el número de tanques o bodegas que estén siendo cargados simultáneamente.

Este caudal máximo no debe ser excedido para evitar una excesiva presurización y el esfuerzo que se produciría a la red de tuberías. También hay que tener en cuenta una consideración especial con ciertos **hidrocarburos** que son **acumuladores de estática**, estos pueden provocar una descarga eléctrica que se produce por el roce de dos

materiales distintos, esto podría suceder cuando el flujo de hidrocarburos pasa por la red de tuberías, a través de un filtro o cuando salpica en el tanque vacío.

Para evitar esta descarga eléctrica hay que restringir el caudal al principio de la carga, siendo esta con una velocidad inferior a 1m/s evitando de esta manera las turbulencias y el salpicado. Otra medida que se toma es inyectar un aditivo antiestático en el hidrocarburo para así convertirlo en conductor e impedir la retención de carga eléctrica.

Es importante que el crudo que está siendo cargado se distribuya adecuadamente. No se puede permitir que un tanque sea cargado al máximo ratio por una sola línea de entrada para que todos los gases de exhaustación no salgan por una sola salida. Una persona debe estar encargada de vigilar área del colector mientras la operación de carga esté en marcha. En caso de que ocurriese un incidente en el colector se debe poner en marcha el plan de paro de carga y deben hacerse sonar las alarmas de emergencia.

Las compuertas de los tanques deben estar cerradas y los drenajes también.

Las condiciones atmosféricas son el factor principal para conseguir que el gas se disperse adecuadamente a una distancia de seguridad de la línea de salida del tanque. Los gases hidrocarburos son aproximadamente 1,5 veces más pesados que el aire y aun en condiciones de aire en reposo se quedaran a la altura de la cubierta y pueden acumularse ahí; en caso de que esto sucediese y diese lugar a condiciones peligrosas se puede tomar la decisión de parar las operaciones de carga hasta que la acumulación se disperse.

De forma similar, si las condiciones atmosféricas hacen que el gas fluya hacia las acomodaciones del buque y han sido detectadas dentro del mismo la operación de carga debe ser parada inmediatamente y deben hacerse sonar las alarmas de emergencia. El capitán debe asegurarse de que todas las precauciones son realizadas para evitar que los vapores entren a los alojamientos. Esto incluye tener el sistema de aire acondicionado en modo recirculación.

Los alojamientos tienen que ser mantenidos ante condiciones de presión positiva para prevenir la entrada de gases hidrocarburos, las operaciones sanitarias y la extracción de la cocina pueden crear un efecto de vacío. Por esto las entradas del sistema de aire acondicionado de estos lugares no deben cerrarse del todo.

Uno de los trabajos más críticos para los tripulantes a bordo es tomar muestras del crudo que se está cargando para evitar posibles reclamaciones en el futuro. Un plan detallado ha de ser trazado respecto a la toma de estas muestras centrándose en las precauciones para evitar riesgos durante la toma, el equipamiento requerido para efectuarlas y las ubicaciones críticas donde coger estas muestras a bordo del buque.

### **5.3.1- GAS INERTE**

Los tanques que se van a cargar estarán inertizados antes de llegar a la terminal. El nivel de oxígeno no puede superar el 8% del volumen en los tanques, y para las operaciones más seguras este se fija para que sea inferior al 5%. Esto será estipulado y revisado en el plan de carga.

### **5.3.2- ALINAMIENTO DE LA RED DE IG(GAS INERTE)**

Antes de comenzar con la operación de carga, la red de ventilación de gas inerte designadas a los tanques de carga debe volver a ser comprobadas para confirmar que estén en la posición deseada. El bloqueo de la posición una vez haya sido comprobado debe ser realizado por el primer piloto y debe ser supervisado posteriormente por el piloto de guardia.

### **5.3.3- CONFIRMACIONES DE SEGURIDAD Y PERMISO PARA COMENZAR:**

Una vez el primer piloto esté satisfecho con todas las preparaciones realizadas respecto al plan y que la plataforma o refinería ha confirmado que está lista para cargar el crudo, entonces puede ordenar la apertura de las válvulas del colector para comenzar con la carga siguiendo el plan.

1. La carga comienza con un caudal de flujo reducido (para evitar la generación de energía estática), observando la presión del colector en todo momento.
2. El primer tanque que sea cargado debe ser documentado.
3. Se debe confirmar que no ha llenado el tanque del todo, dejando un margen (ullage) y que el crudo está circulando como ha sido planeado.
4. En caso de que se caliente el crudo durante la carga, hay que comprobar que se caliente con los valores estudiados previamente y no sea más rápido que este, sino habría que reducir el caudal de carga.
5. Una vez se hayan recibido los comprobantes de que se han pasado todas las pruebas de seguridad en el primer tanque, entonces se pueden abrir los otros tanques para su carga e ir incrementando con cuidado el caudal de carga.
6. Se ha de mantener comunicaciones constantes con la plataforma o refinería hasta que se hayan estabilizado todos los parámetros.
7. La presión del gas inerte de los tanques de carga debe ser ajustada para que sea positiva en todo momento y tiene que estar monitorizada.

### **5.3.4- SISTEMA DE MONITORIZACIÓN DE FUGAS**

Hay que prestar atención a las fugas de la carga, aunque sean muy pequeñas desde las primeras etapas de la operación. Las fugas de la red de tuberías, juntas y válvulas tienen que ser monitorizadas. Los tanques que no están siendo cargados también tienen que ser vigilados para asegurarse de que el crudo no circula hacia otros tanques que no sean el de carga. Durante las operaciones de carga hay que vigilar la presión del crudo en todo momento y si hay vibración excesiva en las tuberías debe ser atendida inmediatamente.

### **5.3.5- CAUDALES DE CARGA DEL CRUDO**

Los caudales máximos de carga y capacidad de ventilación tienen que estar presentes en la sala de control del buque. Dan los detalles de los estándares para todo el buque, grupo a grupo, y para cada tanque que sea distinto. Esta información basada en cálculos previos tiene que ayudar al primer piloto para determinar cuán rápido puede el buque cargar el crudo en una determinada estación teniendo en cuenta los parámetros del diseño del buque y que tipo de carga sea. El primer piloto deberá indicar en el plan de carga los flujos requeridos a las distintas etapas de la operación de carga.

### **Flujos teóricos**

Los caudales de flujo máximos para cada uno de los tanques deben ser menor que la capacidad máxima de ventilación (SOLAS).

El caudal máximo está afectado por los siguientes factores:

Diámetro de la válvula/línea del colector-

Sección de la tubería (m<sup>2</sup>) x Flujo en el instante (m/s) x 3600(s)= Flujo máximo de referencia.

Número de tanques siendo cargados simultáneamente.

Capacidad de exhaustación de gases del sistema principal.

Capacidad de exhaustación de gases del sistema secundario.

### **Decidir el caudal**

El caudal inicial y el máximo, el caudal de completado de tanques y los tiempos de paro deben ser considerados en relación con:

La naturaleza del crudo que se está manejando.

Las líneas de carga del buque y sistemas de exhaustación de gases, su disposición y capacidad; la presión de la red de sistemas de ventilación no deberá exceder la indicada por el fabricante. Debe ser monitorizada en las terminales que se sepa que trabajan con caudales altos.

La presión máxima de la ventilación puede estar basada teniendo en cuenta la carga de todos los tanques simultáneamente, esto debe ser tenido en cuenta y reducido apropiadamente si se están cargando menos tanques.

La habilidad y aptitud de los trabajadores del buque.

También hay que tener en cuenta la edad, condición y fiabilidad de la red de tuberías del buque y del sistema de medida de presiones y caudales.

Las consideraciones para evitar la acumulación de electricidad estática

### **5.3.6- DESLASTRADO DE LOS TANQUES DE LASTRE:**

- Obtener el permiso de la persona a cargo de la operación de deslastrado antes de comenzar con la misma. En principio, esta operación debería empezar después de que haya empezado la operación de carga del crudo.

- Deslastrar, cumpliendo el plan del buque para conseguir un calado suficiente, especialmente cuando se acerca al final de la operación de deslastrado. Este periodo debe ser planeado bastante antes de que los tanques de crudo estén cerca de ser cargados al completo (topping off).

### **5.3.7- REGISTRO DURANTE LAS OPERACIONES EN EL LIBRO DE REGISTROS DEL PETROLERO:**

Las siguientes cosas deberán ser apuntadas en el libro de registros del buque de forma horaria:

- Presión y temperatura del colector.
- Calado y asiento.
- Monitorización de los niveles de los tanques que no están siendo descargados.

- Tensión y estabilidad del buque.
- Presión en los tanques

La posición de la terminal respecto al buque desde la cual se está cargando el crudo debe ser monitorizada durante las operaciones.

### **5.3.8- REMATE DE TANQUES (TOPPING OFF):**

Antes de comenzar con la operación del completado de tanques hay que preparar al personal adecuado para las operaciones. A medida que el número de tanques restante se reduce con el avance de las operaciones de carga hay que reducir el caudal de carga considerablemente para tener tiempo suficiente para hacer frente al remate de la operación.

#### **Preparación para el remate de los tanques:**

- El primer piloto deberá indicar en el plan de carga el método que desea emplear para realizar el remate de los tanques y cuál es el límite permitido de llenado para estos.

- También deberá indicar al piloto de guardia cuando desea que la operación de remate comience.

- El piloto de guarda deberá calcular cuando va a empezar la operación y avisar a la terminal con bastante tiempo.

- Antes de que empiece la operación se han de verificar y comparar los medidores remotos con el medidor fijo en el tanque de carga. Y se debe completar el “registro de verificación del indicador de nivel del tanque de carga en los puertos de carga” de los tanques para confirmar la precisión de los medidores en los tanques.

- El primer piloto deberá ser notificado de cualquier discrepancia cuando se le llame para la operación de remate.

- Asumiendo que el tanque en el que se va a realizar la operación no es el último tanque y que quedan más válvulas abiertas de tanques siendo cargados, la válvula deberá ser operada asegurándose de que queda suficiente hueco en el tanque(ullage) para asegurarse de que cerrará como es debido.

- Cuando se rematen tanques tendrá que haber suficiente personal disponible para monitorizar la operación y ayudar si es necesario.

Esta operación es un punto crítico de la operación de carga. Una bomba hidráulica portátil debe estar disponible en la plataforma complementada con aceite y mangueras adicionales, en caso de que haya un fallo en el sistema operativo de la válvula.

#### **Operación de remate:**

- Si la operación de llenado le da un motivo importante de preocupación en cualquier momento, como un mal funcionamiento del equipo, parar la operación de carga. Luego, tomar el tiempo necesario para que las cosas se calmen nuevamente antes de continuar.

- Después de reducir la velocidad de carga para el remate, se debe verificar que la velocidad de carga ha sido reducida según lo solicitado.

- Si el caudal de carga sigue siendo demasiado alto, se debe solicitar a la terminal que reduzca aún más la tasa de bombeo.

- Es esencial que todas las válvulas del buque no estén cerradas contra un flujo de crudo.

- Para evitar esto, no menos de un número mínimo predeterminado de válvulas debe estar abierto durante los períodos de caudal máximo y especificado en el plan de carga.

- Se debe tener cuidado durante el remate de tanque(s) para asegurarse de que haya suficientes válvulas abiertas.

- Cuando se ha rematado el primer tanque, el piloto de guardia cambia al siguiente tanque según lo indique el piloto principal y el proceso se repite.

- Cuando se va a rematar el tanque final, la válvula no debe cerrarse contra el flujo de crudo.

- Se deben monitorear los tanques estacionarios o vacíos para asegurarse de que el espacio vacío(ullage) establecido no cambie.

- Se debe tener cuidado de no operar los controles de la válvula del tanque por error y, si es posible, se debe instalar un sistema para marcar las válvulas para que permanezcan cerradas. Se debe tener cuidado para asegurarse de que las válvulas estén bien cerradas, y se deben monitorear los niveles de los tanques ya llenos para asegurarse de que no haya habido cambios en el espacio vacío(ullage).

- Después de confirmar con los fabricantes para evitar la posibilidad de que la válvula de carga operada hidráulicamente se "deslice", el interruptor de control se dejará en la posición de cerrado en los tanques no operativos cuando se esté trabajando o después de terminar de cargar la carga.

- Un aviso de advertencia se colocará en la sala de control de carga de todos los tanques, que tenga una posición neutral en el interruptor de control remoto de la válvula, en el sentido de que la válvula se mantenga en la posición cerrada en los tanques no operativos cuando esté trabajando / o después de terminar de cargar la carga.

#### **Fase final del remate:**

- Cerrar las válvulas del colector después de confirmar que ha terminado la operación de carga desde la terminal.

- Una vez que hayan cesado las operaciones de carga, el elevador del mástil u otro sistema de ventilación en uso debería cerrarse para reducir la pérdida de los extremos más ligeros a la atmósfera, pero deberá vigilarse la presión del tanque de cerca para asegurarse de que el sistema no está sobre presurizado.

- Tendrán que drenarse las mangueras y los brazos del colector. Todas las válvulas de drenaje del colector deben ser operadas por el primer piloto; el piloto de guardia debe estar estacionado en el colector y asegurarse de que se abran las válvulas correctas.

- Tras drenar todo el crudo de las tuberías, cerrar las válvulas del tanque y las válvulas de ventilación hay que asegurarse de que la conexión está despresurizada y aislada del tanque de carga interno de gas inerte.

- Toda la carga en las líneas de carga de cubierta debería dejarse caer por gravedad en un tanque o tanques designados. Las líneas no deben dejarse caer de regreso a la sala de bombas.

- Paralelamente al trabajo de drenaje, hay que medir la temperatura y el espacio vacío(ullage) en cada tanque para calcular la cantidad cargada.



- Al finalizar la medición y el muestreo, todos los puertos de vacío, esclusas de vapor y cualquier otra abertura del tanque deben confirmarse cerradas.

- Se debe tener cuidado para asegurar que las líneas de carga no se sobrepresuricen debido a las altas temperaturas ambientales.

- El IGS (Sistema de gas inerte) se encenderá para registrar y controlar la presión de los tanques de carga. Deberá estar debidamente marcado para los detalles del número de viaje, fecha y hora de encendido y la presión actual correspondiente. Este registro estará en operación continua hasta el puerto de descarga final.

Una vez se han llenado todos los tanques hay que hacer una supervisión final para comprobar que los calibrados están bien, que se han cargado todos los tanques la cantidad correspondiente y apuntar todos estos datos en el libro de registros.

## **5.4- OPERACIÓN DE DESCARGA**

La operación de descarga es muy similar a la de carga en todos sus pasos, las mayores diferencias se dan en que el buque empleará sus bombas y el sistema de gas inerte deberá estar en operación continua durante toda la operación, a diferencia de la operación de carga, donde los tanques ya estaban inertizados antes de comenzar y el sistema de gas inerte era parado antes de iniciar la operación de carga.

Otro punto de distinción es que tras la descarga hay que proceder con la limpieza de los tanques, esto será parte del plan de descarga.

### **5.4.1- PREPARACIONES PARA LA DESCARGA**

Antes del comienzo de la descarga, se deben probar los "disparos de parada de emergencia" de la bomba de carga. Esta prueba debe realizarse dentro de las 24 horas previas a las operaciones de carga previstas. En los buques equipados con un sistema de gas inerte, por lo general, solo se debe permitir que el gas inerte ingrese al espacio desplazado por la carga descargada (esto depende del envío en cuestión y las regulaciones del puerto). Las válvulas de presión/vacío deben estar configuradas para permitir que el aire ingrese al tanque en caso de una falla en la planta de gas inerte para evitar daños a la estructura del tanque mientras las bombas están detenidas.

Se debe delegar a una persona para que vigile a la vista del área del colector en ocasiones durante la descarga.

### **5.4.2- ALINEACIÓN DE TUBERIAS Y VALVULAS**

Hay que preparar las líneas entre los tanques y las bombas después de completar la medición del vacío. Los tanques que no se descarguen deben estar debidamente marcados y protegidos contra fallos de operación accidentales. Antes de comenzar, descargar la tubería del tanque de carga y las válvulas de la sala de bombas que se ajustarán según el Plan para el inicio de la descarga. Utilice la "Lista de verificación de válvulas" específica del barco con prudencia. Las válvulas que no estén en uso deben asegurarse y cerrarse. Los ajustes de la línea/válvula deben ser supervisados. En la apertura de las válvulas del colector, la presión del colector debe ser monitoreada regularmente. Opere las válvulas principales según la orden del representante de la terminal.

### **5.4.3- PREVENCIÓN DE DERRAMES ACCIDENTALES**

El personal de los barcos debe mantener una estrecha vigilancia durante las operaciones de descarga para asegurarse de que cualquier escape no pase desapercibido.

Es fundamental que todas las válvulas estén cerradas si no se utilizan. El personal que opera plantas de gas inerte debe ser consciente de que, con algunos generadores de gas inerte, existe el riesgo de contaminación por aceite a través de la descarga de agua de refrigeración cuando el quemador no se enciende en su ciclo de arranque. Cuando exista tal incertidumbre, es mejor encender el generador antes de que el barco llegue al atracadero. Los tanques de carga o de combustible que hayan sido rematados deben revisarse con frecuencia durante las operaciones de carga restantes para evitar un desbordamiento. Si ocurre un derrame o fuga accidental de la carga durante cualquier operación, la operación correspondiente debe detenerse inmediatamente hasta que se haya establecido la causa y se haya corregido el defecto.

Según la MARPOL todas las embarcaciones se suministran con un equipo aprobado de materiales de limpieza especificados en la Ley de Contaminación de Petróleo De 1990 y MARPOL 73/78. MARPOL 73/78 es el Convenio internacional para prevenir la contaminación por los buques. ("MARPOL" es la abreviatura de contaminación marina y 73/78 la abreviatura de los años 1973 y 1978).

Los materiales de limpieza deben estar disponibles en el bunker o en el colector de carga, para la pronta remoción de cualquier derrame en cubierta. Las bombas de salvamento portátiles deben desplegarse en el extremo posterior de cada lado de la cubierta principal. No se debe permitir que los productos químicos utilizados para la limpieza en cubierta entren al agua a menos que se haya obtenido permiso de las autoridades portuarias. En caso de que ocurra un accidente por derrame de hidrocarburos, se debe informar inmediatamente a las autoridades correspondientes.

#### **5.4.4- SUMINISTRO DE IG (GAS INERTE) A LOS TANQUES DE CARGA QUE ESTÁN SIENDO DESCARGADOS**

Hay que confirmar que el nivel de oxígeno del suministro principal del IG sea inferior al 5% y se suministre a los tanques. La fecha, la hora, el número de viaje y la descripción de la operación deben ingresarse en el registrador de presión fija y densidad de oxígeno del IGS.

##### **Alineamiento del IGS:**

Antes de iniciar la descarga, el IGS debe configurarse adecuadamente para mantener una presión de gas positiva en todos los tanques en todo momento. Las líneas de entrada a los tanques de descarga designados se volverán a comprobar y se confirmarán en la posición deseada. Para los tanques que deben aislarse por vapor (según las instrucciones del fletador), la presión del IG se controlará cada 4 horas.

#### **5.4.5- CONFIRMACIONES DE SEGURIDAD Y AUTORIZACIÓN**

Una vez que el primer piloto esté satisfecho de que todos los preparativos realizados siguiendo el plan de descarga de hidrocarburos y el representante de la instalación en tierra haya confirmado que la instalación está lista para recibir la carga, puede ordenar que se abra la válvula del colector designada, la salida del IG a los tanques de carga de descarga y las operaciones de descarga deben comenzar siguiendo el plan de descarga. Se empieza la descargar a un caudal reducido. Siguiendo las instrucciones en tierra y aumentando el caudal de descarga una vez que se haya confirmado que no hay fugas de petróleo y que la orilla está recibiendo en su extremo hasta que se haya alcanzado la presión en el colector acordada.

#### **5.4.6- PRÁCTICA ESTÁNDAR PARA OPERAR BOMBAS CENTRÍFUGAS DE CARGA**

Las bombas centrífugas deben funcionar a sus RPM nominales completas durante la descarga. La reducción de RPM conduce a una rápida disminución en el caudal de bombeo y la eficiencia de bombeo. Cuando el espacio del tanque se acerca a niveles bajos de líquido, es preferible cerrar parcialmente la válvula de descarga, en lugar de reducir las revoluciones de la bomba, para reducir el caudal (para evitar cavitaciones).

Vale la pena saber que una válvula de mariposa abierta al 40% permitirá casi el mismo caudal que una válvula de mariposa 100% libre. Las RPM pueden entonces reducirse según sea necesario. El uso del sistema de descarga automática (AUS), cuando esté instalado, se utilizará de manera correcta y eficaz para reducir el tiempo total de descarga.

Las cavitaciones ocurrirán cuando la bomba intente descargar más carga de la que puede entrar a la succión, es decir, con carga de alta viscosidad o cuando esta sea altamente volátil. En tales casos, la presión del tanque de carga de IG podría contribuir significativamente al aumento de la altura neta de succión positiva de la bomba de carga. Existe el peligro de que ingrese gas o aire en lugar de líquido en la bomba, y la bomba estaría funcionando en un vacío parcial en lugar de fluido. La evidencia de cavitaciones es un aumento de la vibración y una producción reducida, lo que dañará la bomba. Siempre observe el manómetro de succión de la bomba de carga. Durante el funcionamiento de la bomba, un oficial debe estar en el puesto en todo momento en la sala de control de carga para observar el tacómetro y la presión de descarga y estar preparado para cerrar parcialmente ("estrangular") la válvula de descarga de la bomba si la presión cae o para apagar la bomba si pierde succión.

##### **Precauciones al operar con varias bombas de forma simultanea**

Es fundamental hacer funcionar todas las bombas en condiciones de bombeo similares (velocidad y presión de suministro). Si una bomba funciona mucho más lenta que otras o una presión de suministro mucho más baja, puede dejar de bombear y calentarse, posiblemente a un nivel peligroso. Si hay una contrapresión alta, es dudoso que valga la pena hacer funcionar todas las bombas.

#### **5.4.7- REGISTRO DURANTE LAS OPERACIONES EN EL LIBRO DE REGISTROS DEL PETROLERO:**

Los siguientes elementos se registrarán en el Libro de registro de carga del petrolero cada hora:

- 1- Cantidad descargada (tasa) para compararla con la del lado del terminal.
- 2- El registro de rendimiento de bombeo. Monitor de niveles en tanques que no se descargan
- 3- Los tiempos correspondientes al momento de registrar datos.
- 4- Presión de la bomba y RPM.
- 5- Presión y temperatura del colector.
- 6- Calado y asiento
- 7- Nivel en tanques que no se están descargando.
- 8- Esfuerzos producidos y estabilidad del buque.

## 9- Presión en los tanques.

Los fletadores no solo se preocupan por el rendimiento en el mar de un buque, sino también por su capacidad de bombeo y, como resultado, por la duración de las paradas en puerto. Por lo tanto, un registro informativo y completo de la operación de descarga debe poder refutar cualquier reclamo de bajo rendimiento de bombeo. Se requiere un registro informativo y completo de las RPM, los caudales, las presiones de descarga de la bomba y las presiones de succión, así como las presiones que se muestran en los manómetros en el colector de los barcos para poder refutar cualquier posible afirmación de un rendimiento deficiente de bombeo.

### 5.4.8- LAVADO DE LOS TANQUES

El lavado de los tanques es una operación complicada y extensa que necesitaría más de 10 páginas para verse en profundidad, pero resumiendo, se puede realizar con distintos métodos como los siguientes:

**Lavado con petróleo crudo (COW).** En el caso de que se realizase lavado con crudo, el buque deberá informar con antelación a la terminal. Deben informar con al menos 24 horas antes de su llegada. Esta se realiza generalmente mientras el buque está en el puerto de descarga.

**Método de inyección de agua.** Se inyecta agua de lavado directamente al tanque, a través de máquinas

**Método de vaporización.** Consiste en introducir agua hasta cubrir los serpentines, añadiendo luego el detergente. El tanque se calienta hasta que el solvente se evapora, pegándose en las paredes del tanque. Luego se aplica el lavado y se enjuaga nuevamente con agua.

Independientemente de como se realice la limpieza se cumple lo siguiente:

**IGS:** es vital que el nivel de oxígeno en el tanque que va a ser lavado sea menor al 8%, si durante el lavado excede esta cantidad habrá que interrumpir la operación y activar el IGS para volver a las condiciones óptimas.

**Máquinas lavadoras y líneas:** antes de realizar el lavado hay que llevar a cabo una inspección general a las máquinas (que pueden ser estacionarias o móviles), mangueras y líneas de distribución.

**Tanques de decantación:** El reachique (restos del lavado), es enviado a uno o varios tanques de decantación llamados “Slops”, donde posteriormente se descargarán a tierra. No se debe permitir que queden residuos en los tanques ya descargados para evitar la contaminación de la nueva carga.

Como con la operación de carga y descarga, también en la de limpieza se lleva a cabo un registro donde se anotan todos los datos relevantes en la misma.

### 5.4.9- LASTRADO Y DESLASTRADO

Llene los tanques con agua de lastre según el plan de lastre. Considere las precauciones decididas para la descarga de carga caliente. Avisar al terminal del asunto antes del inicio del lastrado. Como estándar, para evitar la posibilidad de desbordamiento de lastre al costado, el nivel de lastre de cualquier depósito (mientras esté en el lado) no debe exceder el 90% de la capacidad del tanque. Dichos niveles se marcarán cerca de los medidores de lastre y se mostrarán de manera visible en la sala de control.

#### **5.4.10- DESMONTAJE DE CARGA**

En la última etapa de descarga, se reduce el número y el caudal de las bombas de carga principales y también gradualmente la apertura de las válvulas de entrega para cambiar a desmontaje. El desmontaje se realiza mediante el sistema de descarga automática (AUS), los eductores o las bombas de desmontaje.

Para una mayor confirmación de la extracción efectiva con un manómetro de succión a distancia, la tripulación del buque realizará un sistema cerrado de sondeo manual (mediante inmersión) de los tanques de carga para determinar el estado de los sedimentos/crudo del fondo del tanque.

#### **5.4.11- INSPECCIÓN AL FINALIZAR LA DESCARGA DE LOS TANQUES.**

Los tanques de carga deben ser medidos en presencia del inspector/capitán de atraque que lo atienda para confirmar que no contienen carga bombeable (líquida).

El buque debe preparar certificado seco (o certificado ROB, si es líquido bombeable), una vez completado, y el mismo deberá ser reconocido por el Primer piloto.

Cualquier carga no bombeable restante (por los sistemas de bombeo fijo del buque), si se encuentra, deberá documentarse con las observaciones adecuadas en el certificado.

Se seguirá el método cerrado para la inmersión de dichos tanques de carga.

#### **5.4.12- FINALIZACIÓN DE LA DESCARGA**

Cerrar las válvulas de compuerta del colector después de confirmar que se completó la transferencia de crudo a la terminal. Una vez completado un estudio en seco en el lado de la terminal (receptor), drenar las mangueras y los brazos en el colector y proceder a desconectarlos.

Todas las válvulas de drenaje del colector deben ser operadas por el Primer piloto; el oficial de la plataforma de servicio debe estar estacionado en el colector y asegurarse de que se abran las válvulas correctas antes de confirmar en el CCR que las válvulas están abiertas. Después de drenar todo el crudo de las tuberías, cerrar las válvulas del tanque y las válvulas de ventilación. Asegurarse de que la conexión esté despresurizada y aislada de la presión del tanque de carga interno de IG.

Toda la carga en las líneas de carga de cubierta debería dejarse caer por gravedad al tanque o tanques designados. Las líneas no deben dejarse caer de regreso a la sala de bombas. Paralelamente al trabajo de drenaje, medir la temperatura y el espacio vacío en cada tanque para calcular la cantidad cargada. Al finalizar la medición y el muestreo, todos los puertos de espacio vacío, esclusas de vapor y cualquier otra abertura del tanque deben confirmarse cerradas.

Se debe tener cuidado para asegurar que las líneas de carga no se sobrepresuricen debido a las altas temperaturas ambientales.

El sistema de registro de presión del IG deberá encenderse para registrar y controlar la presión de los tanques de carga. Deberá estar debidamente programado para mostrar los detalles del número de viaje, fecha y hora de encendido y la presión actual correspondiente. Este registro estará en operación continua hasta el puerto de descarga final.

#### **5.4.12- DETENCIÓN DEL SISTEMA DE GAS INERTE**

Ajustar la presión del gas inerte en los tanques y detener el sistema cuando la presión alcance el valor prescrito.

## 6.- CÁLCULO DE LAS BOMBAS DEL SERVICIO PARA UNA DETERMINADA CANTIDAD DE CRUDO.

Petrolero de 234m eslora, 43m manga y 21m puntal, con una capacidad de carga de 120000 toneladas de crudo, voy a proceder al cálculo de las bombas de servicio de carga y descarga de crudo.

Queremos que se las bombas sean capaces de realizar toda la carga/descarga del crudo en menos de 21 horas y media ya que está en nuestro interés que la varada en puerto dure menos de 24h y teniendo en cuenta el tiempo de preparación para la operación e inspección final al terminar ese es el tiempo que nos queda aproximadamente.

En los últimos años, el funcionamiento de las bombas de carga ha experimentado un gran avance. Las bombas de vapor han sido sustituidas por bombas eléctricas o de accionamiento hidráulico, de funcionamiento más seguro y fácil, y que no requieren la instalación de ningún equipo eléctrico en la zona de trabajo. Incluso ha desaparecido la necesidad de contar con salas de bombas en muchos petroleros. Se va a realizar el cálculo con bombas centrífugas que siguen siendo las más empleadas.

La densidad de la carga se va a coger como 0,895 t/m<sup>3</sup> y su viscosidad cinemática como 50,6 cSt, sabiendo esto nuestro volumen de descarga es de 120000\*0,895= 107400 m<sup>3</sup>. Hay que tener en cuenta que aproximadamente el 10% del volumen será descargado con un régimen de las bombas al 50% y que ha esto hay que añadirle un tiempo aproximado de 1h y 15 minutos de drenaje de tanques y tuberías.

Entonces hay 10740m<sup>3</sup> que serán descargados al 50% y el resto 96660m<sup>3</sup> que se descargarán a régimen nominal. Se van a emplear 3 bombas para el cálculo, estás bombas estarán situadas en paralelo y serán todas exactamente el mismo modelo de bomba, por lo cual su curva característica no va a variar entre la individual y la conjunta. Se instalarán 4, una extra por seguridad en caso de que falle una.

$$Tiempo\ de\ descarga = \frac{96660}{3xQ} + \frac{10740}{\frac{3xQ}{2}}$$

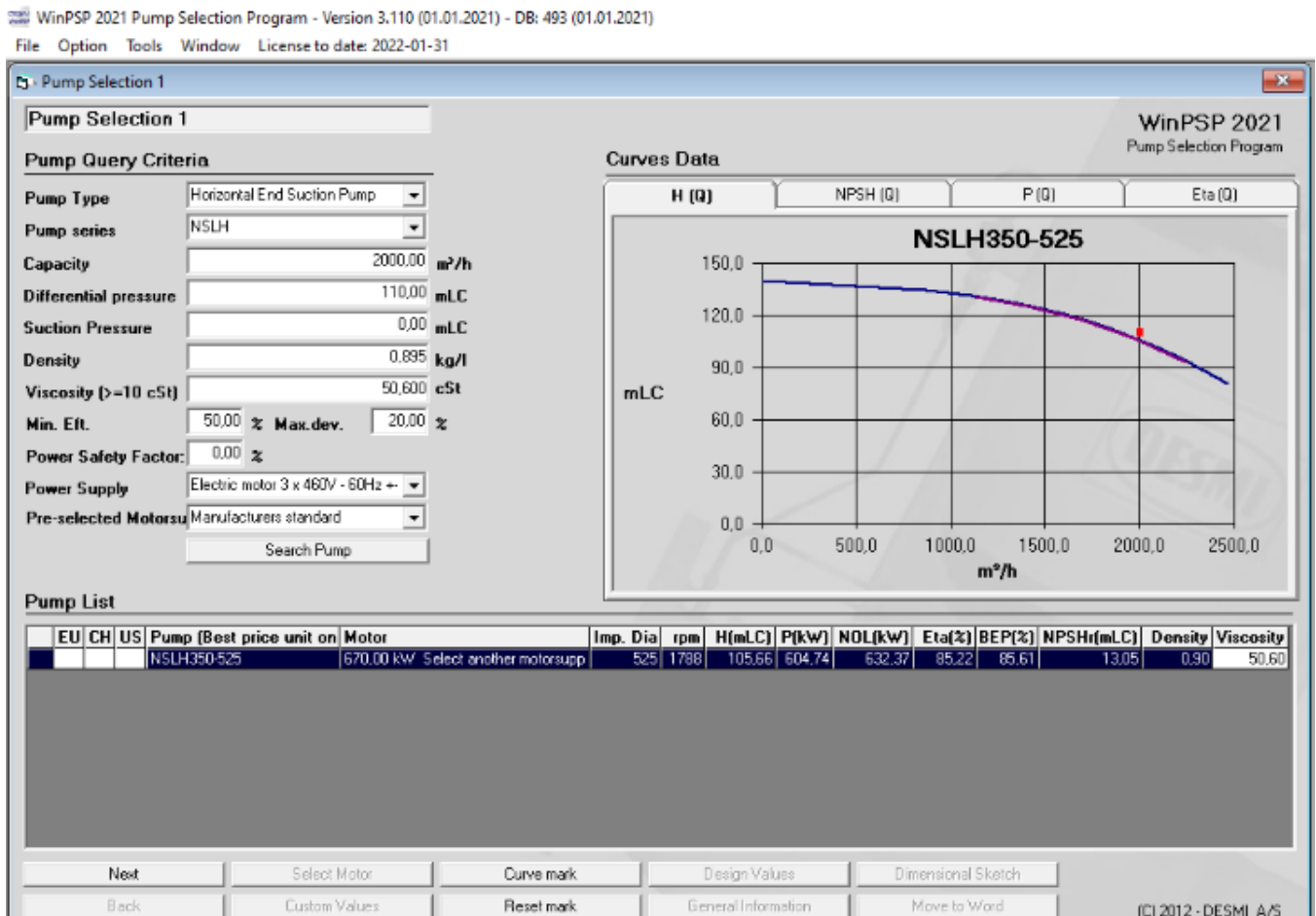
Siendo Q el caudal de las bombas 2000  $\frac{m^3}{h}$  se tardarían 19,68h.

Sumando a este tiempo la 1h y 15 minutos el total de tiempo para la descarga de crudo es de 20h y 56 minutos siendo un tiempo muy parecido al que se busca.

Una vez se tiene el caudal que se busca el procedimiento sería dirigirse a las curvas de funcionamiento de bombas que puedan llegar a este caudal y manualmente calcular la ATM (altura total manométrica) en mLC, la potencia de la bomba y el rendimiento de esta. Pero no hay bases de datos abiertas disponibles para realizar estos cálculos. Tras una extensa búsqueda se contactó con varias empresas que tenían bombas de esta capacidad especializadas en la industria naval y una de ellas DESMI fue tan

amable de otorgar acceso a su programa de selección de bombas, en el cual se introducen los datos de la bomba: tipo, el caudal, la viscosidad y densidad del fluido. A partir de los datos introducidos esta accede a su base de datos donde están todas las curvas de funcionamiento de sus bombas que cumplen con los requisitos y te muestra las mejores opciones para dicha búsqueda.

En la siguiente imagen se puede observar el programa y la búsqueda realizada.



Solo encuentra una bomba que cumpla lo que se está buscando, NSLH con DN de 350mm y diámetro del rodete de 525mm trabajando a un rendimiento del 85,22% siendo el máximo de la curva de rendimiento 85,61% es decir está trabajando prácticamente en el punto óptimo de la curva.

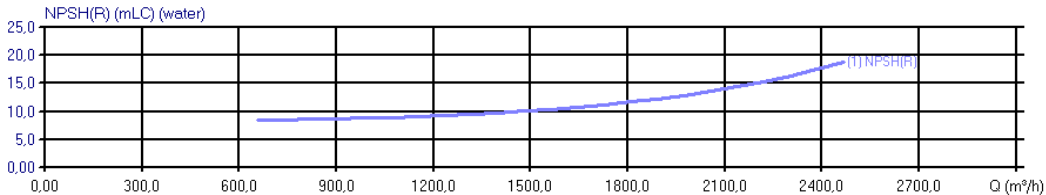
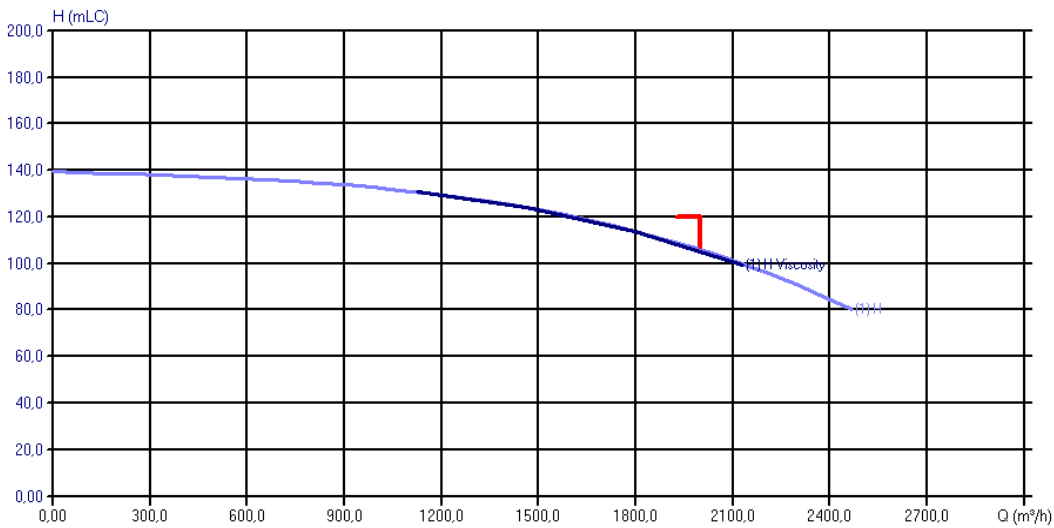
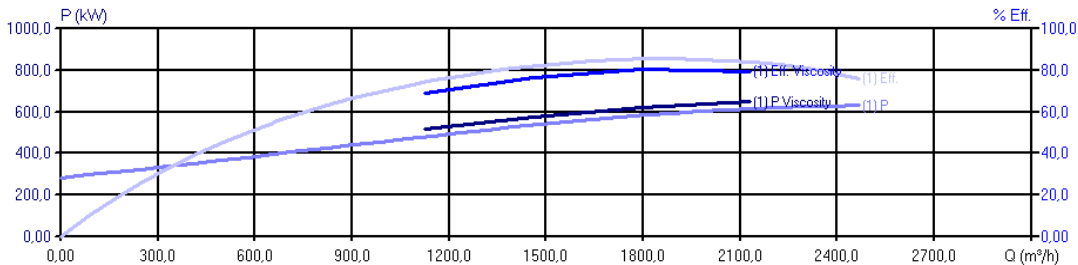
Tiene una altura manométrica de 105,66 mLC y una potencia de 604,74kW, en el caso de la imagen recomiendan que funcione con un motor de 670 kW pero permiten su venta sin motor y dejan a la elección del usuario como suministrar la energía. La bomba trabaja a 60Hz con 1788 rpm.

En la siguiente página se pueden observar las curvas de dicha bomba.



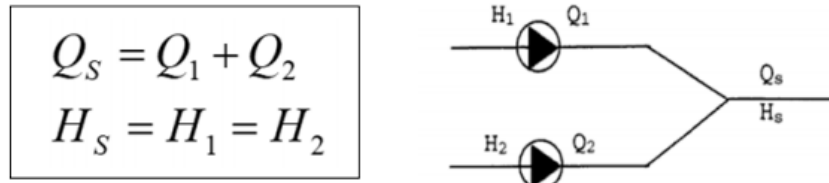
Curvas del fabricante para una sola bomba.

According to ISO 9906 Grade 2B



(1) NSLH350-525 Speed: 1788 rpm, Imp. Dia: 525,0 mm, Density: 0,895 kg/l

En la instalación con la que estamos trabajando las bombas están situadas en paralelo, esto significa lo siguiente:

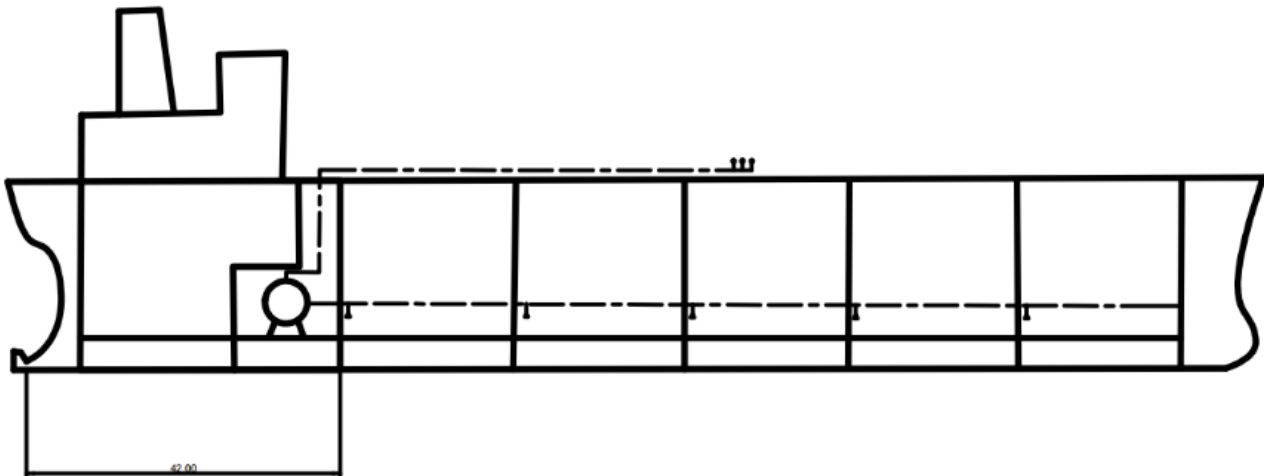


Si las bombas fuesen distintas habría que calcular la curva conjunta de funcionamiento de dichas bombas, pero al ser iguales llegamos directamente a que  $H_s$  (altura manométrica del sistema) es la misma que la de las bombas trabajando de forma individual.

Posicionamiento de la cámara de bombas:

La cámara de bombas está situada a proa de la cámara de máquinas que está situada completamente a popa del buque.

Aquí podemos ver un esquema del posicionamiento de la cámara de bombas y de por donde se realizaría la descarga y carga del petróleo. El mamparo de proa de la cámara de bombas está situado a 42m respecto a popa.



## **7.- BIBLIOGRAFÍA**

-REGLAMENTO M.A.R.P.O.L. 73/78 (Edición 1.997)

-APUNTES DE ASIGNATURAS DE ARQUITECTURA NAVAL E  
INGENIERÍA DE SISTEMAS MARINOS

-TUTORIAL NAUTICUS HULL JAN 2018

-<http://shipsbusiness.com/tanker-operation.html>

-<https://www.nauticexpo.com/boat-manufacturer/ship-pump-22397.html> (DESMI  
Pumping Technology A/S)

-ESPECIFICACIONES DE PROYECTOS SIMILARES

-MANUAL BÁSICO PARA EMPEZAR A TRABAJAR CON MACROS DE  
VISUAL BASIC PARA EXCEL POR LA UPV

-ACCESS 2019 PROGRAMING BY EXAMPLE WITH VBA, XML, AND ASP  
BY JULITTA KOROL